



RAPORTTEJA 80

VIHANNESVILJELYN TALOUDELLISEN KANNATTAVUUDEN KEHITTÄMINEN TAUTIEN JA LANNOITUKSEN HALLINNALLA

JUHA TUOMOLA, HANNA AVIKAINEN, SARI IIVONEN, PIRJO KIVIJÄRVI, HAO-XI LI,
ANNE PIIRAINEN, MINNA PIRHONEN



VIHANNESVILJELYN TALOUDELLISEN KANNATTAVUUDEN KEHITTÄMINEN TAUTIEN JA LANNOITUKSEN HALLINNALLA

**JUHA TUOMOLA, HANNA AVIKAINEN, SARI IIVONEN, PIRJO KIVIJÄRVI, HAO-XI LI,
ANNE PIIRAINEN, MINNA PIRHONEN**

Julkaisija	Helsingin yliopisto Ruralia-instituutti www.helsinki.fi/ruralia	Lönnrotinkatu 7 50100 MIKKELI	Kampusranta 9 C 60320 SEINÄJOKI
Sarja	Raportteja 80		
Kannen kuva	Pirjo Kivijärvi		
ISBN	978-952-10-6501-9 (pdf)		
ISSN	1796-0630 (pdf)		

ESIPUHE

Avomaavihannesviljely Suomessa on jatkuvan kehityspaineen alla. Elinkeinon kannattavuutta ja kilpailukykyä tulisi pystyä tehostamaan ja tuotannosta koituvia ympäristöongelmia pitäisi pyrkiä hallitsemaan entistä paremmin. EU:n kasvinsuojeluaineiden kestävä käytön direktiivin mukaisesti koko kasvintuotantosektorilla ollaan siirtymässä integroidun kasvinsuojelun toteuttamiseen, minkä johdosta lisätietoa avomaavihannesten kasvitaudeista ja niiden hallintamenetelmistä tarvitaan. Myös ravinteiden kiertoa tulisi tehostaa vihannesviljelyssä, jossa typpilannoitteiden käyttö on runsasta. Vihannesviljelyn taloudellisen kannattavuuden kehittäminen tautien ja lannoituksen hallinnalla (VihTa) -hankkeessa keskityttiin tuottamaan tietoa ja käytännön ratkaisuja vihannesviljelyssä ja alueen aiemmissa kehityshankkeista havaittujen kasvitautiongelmiin hallitsemiseksi ja ravinteiden kierron tehostamiseksi. Tässä loppuraportissa esitellään tarkemmin hankkeessa toteutetun tutkimuksen tuloksia ja johtopäätöksiä.

Maa- ja metsätalousministeriön rahoittama kolmivuotinen VihTa-hanke käynnistyi keväällä 2009 ja jatkui vuoden 2011 loppuun saakka. Hanketta koordinoi Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitos ja sen muina toteuttajaosapuolina toimivat Helsingin yliopiston Ruralia-instituutti sekä Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Etelä-Savon vihannesviljelijöistä VihTa-hankkeessa toteutuksessa aktiivisesti mukana olivat Mestariviljelijät Oy, Jari Häyrynen ja Jyrki Karhinen Juvalta, Erkki Aholainen ja Veljekset Aholainen Joroisista, Martti Repo Sulkavalta, Vihannesyhtymä 3T Oy Haukivuorelta sekä Pekka ja Leena Torvinen Leppävirralta.

Hankkeen ohjausryhmän puheenjohtajana toimi maatalousneuvos Kirsi Heinonen Maa- ja metsätalousministeriöstä. Muut ohjausryhmän jäsenet olivat ylitarkastaja Veli-Pekka Reskola Maa- ja metsätalousministeriöstä, kasvipatologian professori Jari Valkonen Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitokselta, projektipäällikkö Hanna-Maija Väisänen Helsingin yliopiston Ruralia-instituutista, viljelijä Jyrki Karhinen Mestariviljelijät Oy:stä, tuotelaatupäällikkö Heini Haverinen Ruokakesko Oy:n tuotetutkimuksesta, vanhempi tutkija Asko Hannukkala ja vanhempi tutkija Harri Huhta Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta sekä kehityspäällikkö Terhi Taulavuori Pro Agriasta

VihTa-hankkeen vastuullisena johtajana toimi yliopistonlehtori Minna Pirhonen Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitokselta. Lisäksi hankkeen tutkimukseen ja loppuraportin toteutukseen ovat osallistuneet projektitutkija Juha Tuomola ja M.Sc. Hao-Xi Li Helsingin yliopiston maataloustieteiden laitokselta, tutkimuskoordinaattori Sari Iivonen, projektipäällikkö Anne Piirainen ja projektisuunnittelija Hanna Avikainen Ruralia-instituutista sekä vanhempi tutkija Pirjo Kivijärvi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta. Hankesuunnittelussa ja kenttäkokeiden toteutuksessa mukana olivat myös projektipäällikkö Veikko Hintikainen sekä tutkimusmestarit Kari Narinen ja Anne Tillanen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta. Raportin ulkoasusta ja viimeistelystä on vastannut julkaisusihteeri Jaana Huhtala Ruralia-instituutista.

VihTa-hankkeen tutkimushenkilöstön puolesta lämpimät kiitokset hankkeen rahoittajalle, aktiiviselle ohjausryhmällä sekä hankkeeseen osallistuneille vihannesviljelijöille.

Helsingissä 6.2.2012

Tekijät

Sisällys

1	JOHDANTO	9
2	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	10
3	KASVITAUTIEN ESIINTYMINEN JA YLEISYYS VIHANNESVILJELMILLÄ ETELÄ-SAVOSSA	11
3.1	Kasvitaatikartoituksen toteutus	11
3.2	Etelä-Savon vihannesviljelmillä esiintyvät kasvitautit	11
3.2.1	Tautikartoitus kasvukaudella 2009	11
3.2.2	Tautikartoitus kasvukaudella 2010	12
3.2.3	Tautikartoitus kasvukaudella 2011	13
3.3	Kasvitautilien esiintymiseen vaikuttavat tekijät ja tautien taloudellinen merkitys	14
4	VIHANNEKSILLE PAHKAHOMETTA AIHEUTTAVAT SIENET ETELÄ-SAVOSSA	15
4.1	Pahkahometutkimuksen toteutus	15
4.1.1	Pahkahometta aiheuttavien sienien lajinmääritys	15
4.1.2	Pahkahomepopulaatioiden monimuotoisuus Etelä-Savossa	15
4.2	Pahkahometta vihanneksille Etelä-Savossa aiheuttavat <i>Sclerotinia</i> -lajit	16
4.3	<i>S. sclerotiorum</i> ja <i>S. subarctica</i> nom. prov. -lajien monimuotoisuus Etelä-Savossa	17
4.4	Pahkahometutkimuksen johtopäätökset	17
5	VIHANNEKSILLA BAKTEERIMÄTÄÄ AIHEUTTAVIEN BAKTEEREIDEN TUNNISTUS, TAUDINAIHEUTTAJABAKTEERIEN LEVIÄMINEN JA TALVEHTIMINEN PELTOMAASSA	18
5.1	Salaatinbakteerimätä	18
5.2	Parsakaalinbakteerimätä	18
5.3	Kiinankaalinbakteerimätä	19
5.4	Vihannesten bakteeritautitutkimuksen toteutus	19
5.4.1	Bakteeritautien syy-seuraussuhteiden selvitys	19
5.4.2	Salaatinbakteerimätää aiheuttavan bakteerin monimuotoisuus, leviäminen ja talvehtiminen	19
5.5	Bakteerimätätutkimuksen tulokset ja johtopäätökset	20
5.5.1	Salaatinpiilomätätaudin etiologia ja epidemiologia	20
5.5.2	Parsakaalin- ja kiinankaalin bakteerimädän aiheuttajat	21
6	PAHKAHOMEEN TORJUNTA BIOLOGISTEN TORJUNTAVALMISTEIDEN AVULLA	22
6.1	Biologisten torjuntavalmisteiden vaikutusta mittaavan tutkimuksen toteutus	22
6.1.1	Maljakokeet laboratoriossa	22
6.1.2	Astiakokeet kasvihuoneella	22
6.1.3	Kenttäkokeet Etelä-Savossa	23

6.2	Biologisten torjunta-aineiden vaikutus pahkahometta vastaan	23
6.2.1	Maljauskokeen tulokset.....	23
6.2.2	Astiakokeiden tulokset.....	24
6.2.3	Kenttäkokeiden tulokset.....	24
6.3	Biotorjunta-aineiden potentiaali pahkahomeen torjunnassa	25
7	BIOFUMIKAATION HYÖDYNTÄMINEN VIHANNESTEN KASVITAUTIEN TORJUNNASSA	26
7.1	Biofumikaatiotutkimuksen toteutus.....	26
7.1.1	Biofumikaatiotutkimuksen kasvihuonekokeet pahkahomeella.....	26
7.1.2	Biofumikaatiotutkimuksen laboratoriokokeet <i>Pseudomonas cichorii</i> -bakteereilla	27
7.1.3	Jäävuorisalaatin varoikakokeet kasvihuoneessa.....	27
7.1.4	Biofumikaatiotutkimuksen kenttäkokeet Etelä-Savossa.....	27
7.2	Biofumikaatiotutkimuksen tulokset	28
7.2.1	Biofumikaation vaikutus pahkahomeen elinvoimaisuuteen kasvihuoneessa	28
7.2.2	Biofumikaation vaikutus <i>Pseudomonas cichorii</i> -bakteerien kasvuun	28
7.2.3	Biofumikaation vaikutus jäävuorisalaatin alkukehitykseen	31
7.2.4	Biofumikaatiokasvien kasvatus avomalla ja biofumikaation vaikutus pahkahomeeseen käytännön viljelyssä – Ensimmäinen kenttäkoe vuonna 2010.....	31
7.2.5	Biofumikaatiokasvien kasvatus avomaalla ja biofumikaation vaikutus pahkahomeeseen käytännön viljelyssä – Toinen kenttäkoe vuonna 2010.....	34
7.2.6	Biofumikaatiokasvien kasvatus avomaalla ja biofumikaation vaikutus pahkahomeeseen käytännön viljelyssä vuonna 2011.....	35
7.3	Biofumikaatiotulosten tarkastelu ja johtopäätökset	37
8	KERÄÄJÄKASVIT RAVINNEHUUHTOUTUMIEN VÄHENTÄJINÄ	39
8.1	Kerääjäkasvikokeiden toteutus ja tulokset.....	39
8.2	Johtopäätökset	42
9	YHTEENVETO VIHTA-HANKKEEN TULOKSISTA	43
10	KIRJALLISUUS.....	44

1 JOHDANTO

Puolet Suomen puutarha-alasta on avomaan vihanneksilla. Vuonna 2010 avomaanvihannesten kokonaispinta-ala Suomessa oli 8654 ha (Tiken Puutarhatilasto 2010). Avomaanvihannestuotannossa ammattimainen tuotanto on keskittynyt Satakunnan, Varsinais-Suomen, Hämeen, Uudenmaan ja Etelä-Savon ELY-keskusten alueella. Etelä-Savossa viljely on painottunut lannoituksen kannalta vaativiin avomaan vihanneksiin kuten kaalikasveihin ja jäävuorisalaattiin. Etelä-Savon alueella tuotettiin viime vuonna 70 % Suomen kiinankaalista, 53 % jäävuorisalaatista ja 25 % parsakaalista. Alueella hehtaarikohtaiset satotasot ovat valtakunnallisesti katsottuna korkeita ammattimaisen ja tehokkaan tuotannon ansiosta.

Vihannestuotantoa on Etelä-Savossa kehitetty vastaamaan kansainvälisen GlobalGAP-laatuja järjestelmän vaatimuksia. Laatuja järjestelmä toimii ensisijaisesti yrityksen kehittämisvälineenä, mutta mahdollistaa myös alkutuotteiden viennin muihin EU-valtioihin. Lisäksi laatuja järjestelmä on ulkopuolisille osoitus tilan yhteiskuntavastuusta. Kehityspaineita vihanneustuotantoon aiheuttaa myös Euroopassa parlamentin ja neuvoston antama kasvinsuojeluaineiden kestävän käytön direktiivi 2009/128/EY. Direktiivi edellyttää EU:n jäsenvaltioilta kansallista toimintasuunnitelmaa kasvinsuojeluaineiden kestävästä käytöstä (National Action Plan - NAP) vuoden 2012 loppuun mennessä. Suunnitelman mukaisesti jäsenvaltioiden tulee soveltaa integroidun kasvinsuojelun (IPM) periaatteita koko kasvintuotantosektorilla vuodesta 2014 alkaen. Myös GlobalGAP-laatuja järjestelmän yhtenä vaatimuksena on siirtyminen integroituun tuotantoon. Integroidun kasvinsuojelun menetelmien kehittämisen tavoitteena on saada käytännön työvälineitä tiloille korvaamaan pelkästään kemialliseen kasvinsuojeluun painottuvia menetelmiä. Edellytys tämänkaltaisten muutosten toteuttamiseksi on laaja-alainen näkemys taloudellisesti merkittävien kasvinsuojeluongelmien esiintymiseen vaikuttavista tekijöistä. Avomaalla viljeltävien vihannesten osalta tämänkaltaista kotimaista tutkimustietoa ei ole saatavilla.

Vihannesviljelyä ja viljelijöiden välistä yhteistyötä on Etelä-Savossa kehitetty EU-osarahoitteisissa alueellisissa kehittämishankkeissa, mutta varsinaista ongelmälähtöistä tutkimusta ei kehittämisvaroilla ole voitu toteuttaa. Viime vuosina kasvitautit ovat lisääntyneet todennäköisesti ongelmallisten sääolosuhteiden vaikutuksesta, mikä on havaittu myös alueella toteutetuissa kehittämishankkeissa. Entuudestaan tuttujen sienitautien, kuten pahkahomeen ja harmaahomeen lisäksi vihanneksilla on esiintynyt myös uudentyyppisiä bakteerien aiheuttamia tauteja. Bakteeritauteja esiintyy jäävuorisalaatilla,

parsakaalilla ja kiinankaalilla. Kasvitautien esiintymiseen vaikuttavia tekijöitä ei tarkemmin tunneta, eikä tautien taloudellista merkitystä ole aiemmin mitattu.

Luonnonmukaisen kasvintuotannon lisääntymisen myötä myös tautien torjuntaan kaivataan uusia keinoja. Ristikukkaiskasveissa luontaisesti esiintyvien glukosinolaattien hyödyntäminen maalevintäisten kasvipatogeenien ja rikkakasvien torjunnassa biofumikaation eli luonnonmukaisen maan desinfioinnin avulla kiinnostaa vihanneviljelijöitä. Menetelmä on yleisesti hyväksytty sekä integroidussa että luomutuotannossa ja sen tehokkuudesta useiden kasvitautien torjunnassa on saatu hyviä tuloksia maailmalta. Biofumikaatiokasvit estävät kasvinsuojeluongelmien lisäksi kerääjäkasveina ravinteiden huuhtoutumista maasta ja parantavat viherlannoituskasveina maan rakennetta. Suomessa on aiemmin tutkittu kaalikasvien glukosinolaattien tehoa rikkakasvien torjunnassa (Jaakkola 2002), mutta biofumikaation vaikutuksesta vihanneviljelyssä havaittujen kasvitautien torjumiseksi ei ole kotimaista tutkimustietoa.

Luonnonmukaisessa vihanneviljelyssä pellon kasvukuntaa ja ravinteiden kiertoa ylläpidetään toteuttamalla asianmukaista viljelykiertoa. Ravinteiden kiertoa tulisi tehostaa myös tavanomaisten vihannesten viljelyssä, jossa typpilannoitteiden käyttö on runsasta ja usein tehotonta aiheuttaen typen haihduntaa ja huuhtoutumista. Kerääjäkasvit sitovat pellosta mineralisaation seurauksena vapautuvia ravinteita aikoina, jolloin maa muuten olisi kasvipeitteetön. Kerääjäkasvien käyttö vihanneviljelyn viljelykierron olisi tarpeen esimerkiksi varhaisvihannesten, kaalikasvien ja salaattien jälkeen, jolloin maahan jää suuria määriä sadonkorjuujätteitä. Tutkimusta ja tietoa Suomeen soveltuvista kerääjäkasveista ja menetelmistä avomaan vihanneviljelyssä ei kuitenkaan ole.

Eteläsavolaisten vihanneviljelijöiden aloitteesta käytännön vihanneviljelyssä ja alueen aiemmissa kehityshankkeista havaittujen kasvitautien ja niiden hallintamenetelmien kehittämistä, sekä ravinteiden kierron tehostamista kerääjäkasvien avulla tutkittiin Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamassa kolmevuotisessa (2009–2011) Vihannesviljelyn taloudellisen kannattavuuden kehittäminen tautien ja lannoituksen hallinnalla (VihTa) -hankkeessa. Tässä loppuraportissa esitellään tarkemmin hankkeessa toteutetun tutkimuksen tavoitteita ja keskeisiä tutkimustuloksia, pohditaan tulosten merkitystä ja jatkotutkimustarvetta, sekä esitetään tutkimuksen perusteella käytännön suosituksia avomaavihannesten kasvinsuojeluongelmien hallitsemiseksi.

2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

VihTa-hankkeessa tavoitteena oli:

1. Tuottaa uutta tutkimustietoa vihannesten bakteeri- ja sienitaudeista,
2. testata markkinoilla olevia biologisia torjuntavalmisteita pahkahomeen torjunnassa,
3. selvittää biofumikaation soveltuvuutta kasvitautien hallintakeinoksi avomaan vihannesviljelmillä ja
4. tuottaa tietoa kerääjäkasvien soveltuvuudesta typen huuhtoutumisriskien vähentämiseen avomaan vihannesviljelyssä

Hankkeessa pyrittiin löytämään ratkaisuja vihannesviljelyn käytännön vaatimukset ja ilmasto-olojen asettamat rajoitukset huomioiden. Päämääränä oli tuottaa tutkimustietoa, jolla voidaan parantaa suomalaisen vihannestuotannon kustannus-

tehokkuutta paremman satotason ja paremman tuotelaadun muodossa, toteuttamalla ympäristön kannalta kestäviä viljelymenetelmiä.

Tavoitteen saavuttamiseksi hanke jaettiin tutkimusosioihin, joissa selvitettiin tarkemmin vihanneksia vioittavien kasvitautien aiheuttajia, kartoitettiin taudinaiheuttajien leviämistä ja tautien aiheuttamien satotappion laajuutta. Lisäksi hankkeessa tutkittiin pahkahomeen torjuntaa biologisten torjuntavalmisteiden ja biofumikaation avulla, sekä kerääjäkasvien soveltuvuutta typen huuhtoutumisriskien vähentämiseen avomaan vihannesviljelyssä. Seuraavissa kappaleissa on tarkemmin käsitelty hankkeessa toteutettujen tutkimusosioiden lähtökohtia, tutkimuksen toteutusta sekä keskeisimpiä tutkimustuloksia ja niiden käytännön merkitystä vihannestuotannossa. Hankkeen tutkimus toteutettiin osin laboratorio- ja kasvihuonekokein Helsingin yliopistolla ja peltokokeen muodossa MTT:n Karilan tutkimusasemalla Mikkeliissä ja osin aidossa tuotantoympäristössä Etelä-Savon ammattiviljelmillä kiinteässä yhteistyössä viljelijöiden kanssa.

3 KASVITAUTIEN ESIINTYMINEN JA YLEISYYS VIHANNESVILJELMILLÄ ETELÄ-SAVOSSA

Pahkahome on pitkäaikaisen yksipuolisen viljelyn seurauksena muodostunut vihannesviljelyn vakavimmaksi kasvinsuojeluongelmaksi Etelä-Savossa. Taudin aiheuttamat tappiot vaihtelevat vuosittain pääosin sääolosuhteista johtuen. Vihanneksilla esiintyy myös muita taloudellisesti merkittäviä kasvitau-teja, joiden vuosittainen vaihtelu on niin ikään sääoloista riippuvaista. Tarkemmin pahkahomeen sekä muiden kasvitautien esiintymistä ja merkitystä Etelä-Savon vihannesmailla ei kuitenkaan tunneta.

Siirryttäessä integroituun tai luonnonmukaiseen kasvinsuojeluun, tulee viljelijän ensisijaisesti olla tietoinen paikallisesti merkittävistä kasvinsuojeluongelmista ja niiden esiintymiseen vaikuttavista tekijöistä. Tämän tutkimustiedon kerääminen aloitettiin VihTa-hankkeessa kartoittamalla avomaavihanneksen kasvitautien esiintymistä ja yleisyyttä Etelä-Savossa. Samalla kerättiin tutkimusaineistoa kasvitautien määrittämiseksi ja taudinaiheuttajien tutkimiseksi.

3.1 KASVITAUTIKARTOITUKSEN TOTEUTUS

VihTa-hankkeessa pahkahomeen sekä muiden tautien esiintymistä ja yleisyyttä seurattiin kenttähavaintojen perusteella kolmen vuoden ajan viidellä eteläsavolaisella vihannestilalla. Vuonna 2009 tilakierroksilla kartoitettiin kiinankaalin, valkokaalin, parsakaalin, jäävuorisalaatin, roomansalaatin ja pienessä mittakaavassa myös erikoissalaattien tautitilannetta. Vuosina 2010 ja 2011 systemaattista tautikartoitusta tehtiin pääsääntöisesti vain jäävuorisalaatin osalta. Oireellisista kasveista kerättiin tautinäytteitä, joista taudinaiheuttajat eristettiin laboratorio-oloissa puhdasviljelmiksi. Alustava taudinaiheuttaja määrittäminen suoritettiin puhdasviljelmänä kasvaneen mikrobien morfologisten ominaisuuksien perusteella.

3.2 ETELÄ-SAVON VIHANNESVILJELMILLÄ ESIINTYVÄT KASVITAUDIT

3.2.1 TAUTIKARTOITUS KASVUKAUDELLA 2009

Kasvukausi vuonna 2009 oli Etelä-Savossa lämpötilojen ja sadeiden osalta lähellä pitkän aikavälin keskiarvoa. Tauteja esiintyi pitkin kasvukautta, joskin loppukesästä enemmän. Jäävuorisalaatilla yleisin tauti oli pahkahome (*Sclerotinia* spp.). Myös harmaahometta (*Botrytis cinerea*) esiintyi runsaasti. Pahkahomeella oli kuitenkin harmaahometta selkeästi suurempi vaikutus kauppakelpoisen sadon määrään, koska sen aiheuttama infektio johti pääsääntöisesti aina kasvin tuhoutumiseen. Harmaahometta esiintyi puolestaan enimmäkseen salaatin alalehdillä, jotka saatiin poistettua kauppakunnossu-tuksessa. Pahkahomeen ja harmaahomeen sekainfektiot olivat jäävuorisalaatilla hyvin yleisiä (Kuva 1). Jäävuorisalaatilla esiintyi myös seittimätää (*Rhizoctonia solani*) ja bakteerien aiheuttamaa piilomätää (*Pseudomonas cichorii*), sekä näiden sekainfektioita. Keskimäärin tautisten kasvien osuus sadosta oli jäävuorisalaatilla 2–24%. Eniten tauteja oli lohkoilla, joissa jäävuorisalaattia oli viljelty vuosia samalla paikalla. Tautien määrä vaihteli myös tarkastusaikojen ja käytettyjen lajikkeiden mukaan. Muiden salaattien viljelyalat olivat pieniä ja siten tarkastettuja kasveja oli myös vähemmän kuin jäävuorisalaatin osalta. Pahkahometta oli tarkastusvaiheissa melko vähän, paitsi tammenlehtisalaatilla, jolla satotappiot nousivat jopa noin 19 %:iin. Roomansalaatilla pahkahome, harmaahome ja seittimätää tuhosivat kasvustoista keskimäärin noin 5%.

Kiinankaalilla lajikevalinta osoittautui kasvitautien osalta tärkeäksi. Bilko-lajikkeella esiintyi useilla lohkoilla todennäköisesti usean taudinaiheuttajan sekainfektiona esiintyvää bakteerimätätautia. Enimmillään lajikkeen tautisuus oli 14%. Taudin ensimmäinen oire on uloimpien lehtien mätäneminen, joka lähtee liikkeelle pääverson leikkauspinnalta ja jatkuu siitä pitkin lehden ulkopintaa johtojänteiden suuntaisesti. Kiinankaalia vaivanneesta taudista eristettiin muun muassa harmaahometta ja *Pseudomonas*-sukuaisia saprofyyttejä ja kasvitau-teja aiheuttavia bakteereja. Samainen tauti ilmeni kiinankaalilla myös varastoinnin yhteydessä. Emiko- ja Suprin-lajikkeiden kasvustot olivat pääosin terveitä. Keräkaalilla pahkahome oli ongelmana kahdella tilalla ja lohkoilla. Pahimmillaan tauti oli tuhonnut noin 25 % kasvustosta (Kuva 2). Möhjöjuurta (*Plasmodiophora brassicae*) löytyi useilta tutkituilta lohkoilta



Kuva 1. Harmaahome (vas.) ja pahkahome (oik.) ovat jäävuorisalaatin yleisimpiä tauteja Suomessa. Harmaahome muodostaa tyypillisesti harmaata sienirihmastoa, kun taas pahkahomeen muodostama rihmasto on aina valkoista. Molemmissa taudeissa muodostuu sienien säilymisrakenteina toimivia rihmastopahkoja. (Kuva: Hanna Avikainen)



Kuva 2. Pahkahomeen infektoima keräkaali. (Kuva: Hanna Avikainen)



Kuva 3. Möhöjuuren oireet ovat näkyvissä sekä kasvin maanpäällisissä että maanalaisissa osissa. Tyypillisesti taudin vioittamat juuret ovat voimakkaasti turvonneet, mikä aiheuttaa häiriöitä veden ja ravinteiden kulkeutumisessa verssoon. Tämä johtaa version kitukasvuisuuteen ja nuutumiseen. (Kuva: Juha Tuomola)

(Kuva 3). Parsakaalilla ei tehty systemaattista tautitarkastusta, koska tiheässä ja korkeassa ja lehtien suojaamassa kasvustossa oli tauteja vaikea havaita. Korjatun kasvuston jätekasveista löytyi kuitenkin bakteerimätää, pahkahometta, harmaahometta ja möhöjuurta. Bakteerimätää oli havaittavissa enemmänkin loppukesällä Haukivuorella ja Leppävirralla pitkään jatkuneen sateen jälkeen (Avikainen & Hintikainen 2010).

3.2.2 TAUTIKARTOITUS KASVUKAUDELLA 2010

Vuoden 2010 kasvukausi oli selvästi edellisvuotta lämpimämpi ja kuivempi. Kauden alussa harmaahome (*Botrytis cinerea*)

viihtyi hyvin harson alla kosteassa ja oli yleisin jäävuorisalaatin tauti ensimmäisillä salaatin korjuukerroilla. Pahkahometta esiintyi kesäkuussa vain satunnaisesti. Heinäkuun alkuun mennessä pahkahomeen sairastuttamat salaattit olivat lisääntyneet. Kahdella suojaisella lohkolle sairaiden kasvien osuus oli noin 10 % tutkitusta kasvustosta. Heinä-elokuun helteet rajoittivat pahkahomeen ja harmaahomeen kasvua ja näitä tauteja löytyikin heinäkuun puolivälin jälkeen vain hyvin vähän. Piilomätä sen sijaan viihtyi helteessä ja tuhosi paikoin suuren osan sadosta, abioottisista häiriöistä aiheutuvan sisäisen lehdenreunapolteen ohella (Kuva 4). Seittimätää oli myös selvästi edellistä vuotta runsaammin (Kuva 5). Pahkahomein-



Kuva 4. Piilomätä on jäävuorisalaatin yleisimpiä tauteja lämpiminä kasvukausina. Kuvassa kerän terveet ulkolehdet ovat poistettu (Kuva: Juha Tuomola).



Kuva 5. Seittimätä aiheuttaa ongelmia lämpiminä kasvukausina. Kuvassa seittimätäinfektio roomansalaatilla (Kuva: Juha Tuomola).

fektiot lisääntyivät jäävuorisalaatilla jälleen elokuun lopulla ja syyskuussa. Lisäksi loppukesällä esiintyi runsaasti *Alternaria danida* -sienen aiheuttamaa laikkutautia. *Alternaria*-laikut ilmaantuvat pääsääntöisesti jäävuorisalaatin alalehtiin, jotka poistetaan salaatin kauppakunnostuksen yhteydessä, eikä taudilla siten ole merkittävää taloudellista vaikutusta (Kuva 7). Kiinankaalikasvustot olivat hyvin terveitä, joskin bakteerimätää sekä todennäköisesti abioottisten häiriöiden seurauksena syntyneitä vioituksia oli havaittavissa ulkolehtien pinnalla varastossa. Loppukesällä myös parsakaalilla oli havaittavissa jonkin verran bakteerimätää (Avikainen & Tuomola 2011).



Kuva 6. *Alternaria*-sienen aiheuttamat laikut ovat yleisiä jäävuorisalaatilla loppukesästä. (Kuva: Juha Tuomola)

3.2.3 TAUTIKARTOITUS KASVUKAUDELLA 2011

Vuoden 2011 kasvukausi oli myös poikkeuksellisen lämmin, joskin edellisvuotta selvästi sateisempi. Tautien esiintyminen oli kuitenkin melko samankaltaista kuin vuonna 2010. Pahkahometta ja harmaahometta esiintyi vain vähän, kun taas seittimätää ja piilomätää oli havaittavissa verrattain runsaasti. Loppukesällä helteiden laannuttua pahkahomeinfektiot jälleen lisääntyivät. *Alternaria danida* -sienen aiheuttamaa laikkutautia oli loppukesällä myös runsaasti. Yhdelle vihannestilalla taimikenttien epäonnistuneen desinfioinnin seurauksena *Pythium*-munasienten aiheuttama taimipolte tuhosi alkukesällä jäävuorisalaatin taimia pellolla. Myöhemmin taudin heikentä-

miin keriin iski pahkahome ja harmaahome. Satotappiot kokonaisuudessaan nousivat lohkolle noin 50 %:iin.

3.3 KASVITAUTIEN ESIINTYMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT JA TAU- TIEN TALOUDELLINEN MERKITYS

Hankkeen tautikartoituksen perusteella vihannesten kasvitautien esiintyminen, yleisyys sekä vaikutus kauppakelpoisen sadon määrään riippuvat oleellisesti kasvukaudella vallitsevista sääoloista. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa käytetty lajike, pellon viljelyhistoria sekä toteutetut viljelytoimenpiteet. Runsas tautien määrä ei välttämättä tarkoita runsaita sadonmenetyksiä, sillä osa taudeista ilmenee tavallisesti kasvinosissa, jotka poistetaan kauppakunnostusvaiheessa. Lämpimät ja kosteat olosuhteet eivät myöskään välttämättä aina lisää tautisuutta, mutta ne saattavat muuttaa eri tautien merkitystä. Esimerkiksi pahkahome ja harmaahome ovat yleisiä ongelmia viileinä ja sateisina jaksoina, kun taas lämpiminä kausina ongelmiksi muodostuvat bakteeritaudit sekä salaatin osalta seittimät (Avikainen & Hintikainen 2010, Avikainen & Tuomola 2011). Pääsääntöisesti taudit ovat yleisempiä kasvukauden loppupuolella, lähellä sadonkorjuuta, joskin pahkahometta ja harmaahometta on löydettävissä jo alkukesästä nuorilta kasveilta. Pahkahometta voidaan tutkimuksen perusteella pitää vihannesviljelyn taloudellisesti merkittävimpänä kasvinsuojeluongelmana, vaikkakin sitä lämpiminä kasvukausina esiintyy suhteessa vähemmän kuin muita tauteja. Harmaahometta esiintyy myös runsaasti, mutta sen taloudellinen vaikutus on pahkahomeeseen verrattuna huomattavasti pienempi. Bak-

teeritautien merkitys saattaa tulevaisuudessa ilmaston lämpenemisen seurauksena kasvaa entisestään. Salaatinpiilomätää voidaan todennäköisesti hallita toteuttamalla asianmukaista viljelykiertoa, kun taas parsakaalilla ja kiinankaalilla esiintyvää bakteerimätää voidaan ehkäistä viljelemällä kestäviä lajikkeita.

Ristikukkaisilla esiintyi verrattain yleisesti möhöjuurta, jonka runsastumisen ehkäisemiseksi tulisi tiloilla toteuttaa asianmukaista viljelykiertoa. Möhöjuurta havaittiin erityisesti parsakaalilla. Myös pahkahomeen osalta ennalta ehkäisevään torjuntaan olisi hyvä soveltaa viljelykiertoa. Viljelykiertoa suunniteltaessa on kuitenkin tärkeä huomioida, että pahkahome ja möhöjuuri muodostuvat rakenteita, jotka viljelykierrosta riippumatta säilyvät maassa elinkykyisinä useita vuosia. Siten lyhyen aikavälin kierrolla ei välttämättä ole vaikutusta peltoon taudinaiheuttajapopulaatioon. Schwartzin & Steadmanin (1978) tutkimuksen mukaan pellon pahkahomepopulaatio pysyy suhteellisen muuttumattomana kolmen vuoden ajan, vaikka pellolle ei tänä aikana taudinaiheuttajan isäntäkasveja viljeltäisikään. Samassa yhteydessä tutkijat huomasivat, ettei pellon pahkahomepopulaatiolla ja siten viljelyhistorialla ole välttämättä mitään yhteyttä epidemioiden vakavuuden kanssa, jos olosuhteet suosivat pahkahomeen leviämistä koteloitoiden välityksellä. Alttiin kasvin vuodesta toiseen jatkuva monokulttuuri saattaa kuitenkin vuosi vuodelta kasvattaa maan taudinaiheuttajapopulaatioita ja sitä kautta lisätä vakavien kasvinsuojeluongelmien riskiä, minkä johdosta viljelykierto pahkahomeen ja möhöjuuren hallitsemiseksi tulisi aloittaa jo ennen kuin pellon tautitilanne muuttuu kriittiseksi. Pahkahomeen torjuntaan suositellaan 4–5 vuoden viljelykiertoa ja välikasveiksi viljoja ja apilaa. Möhöjuuren osalta sopivana viljelyvälinä taudinaroille kasveille pidetään 5–6 vuotta.

4 VIHANNEKSILLE PAHKAHOMETTA AIHEUTTAVAT SIENET ETELÄ-SAVOSSA

Suomessa pahkahomeen aiheuttajana pidetään yksinomaan *Sclerotinia sclerotiorum*-sientä. Jäävuorisalaattia infektoi kirjallisuuden mukaan myös *S. minor*-niminen pahkahomesieni. *S. minor*-lajista on havaintoja Etelä- ja Keski-Euroopasta, Etelä- ja Pohjois-Amerikasta, Aasiasta, Afrikasta ja Australiasta, mutta havaintoja Suomesta ei ole kirjattu (Distribution Maps of Plant Diseases. Map No. 889 2003). Lisäksi avomaavihanneksille pahkahometta aiheuttaa vasta hiljattain tieteelle kuvattu *S. subarctica* nom. prov. (*Sclerotinia* species 1) -niminen sieni. Toistaiseksi *S. subarctica* nom. prov. -lajin on havaittu aiheuttavan pahkahometta vihanneksille vain Yhdysvalloissa, Alaskan osavaltiossa (Winton ym. 2006, Winton ym. 2007). Taudinaiheuttaja on eristetty myös luonnonkasveilta Norjasta ja Iso-Britanniasta (Clarkson ym. 2010, Holst-Jensen ym. 1998). *Sclerotinia*-suvusta muita suomalaisittain merkittäviä patogeenejä ovat apilamätää aiheuttava *S. trifoliorum* sekä nurmikasveja vahingoittava pohjanpahkasieni *S. borealis*.

Pahkahomesienten elinkierto on kuuluvasti tiiviit rihmastopahkat (sklerootiot), joiden avulla sienet säilyvät maassa useita vuosia. Sopivissa olosuhteissa pahkat tuottavat maljamaisia itiöemiä (apoteekioita), joista vapautuvat koteloitiöt leviävät pitkiä matkoja. Sopivan isäntäkasvin kasvaessa lähellä saattaa maassa itävä pahka tuottaa itiöemien sijaan vain pelkkää sienirihmastoa. *S. minor*-lajin on todettu tuottavan itiöemiä ja itiöitä vain harvoin, kun taas *S. sclerotiorum*-lajin katsotaan tyypillisesti suosivan ilmavintaa koteloitiöiden avulla. Tosin viileissä ilmasto-olosuhteissa maalevinnällä katsotaan olevan enemmän merkitystä myös *S. sclerotiorum*-lajin kohdalla. Koteloitiöt ovat pahkahomeen suvullisia lisääntymisraken- teita, joten niiden muodostuminen edellyttää pariutumista. *S. sclerotiorum*-lajia pidetään homotalisena sieninä, mikä tarkoittaa sienin suvullisen lisääntymisen tapahtuvan vain yhtä pariutumistyyppiä edustavien sienirihmojen välillä. Toi- sin sanoen sieniyksilö ei välttämättä tarvitse toista osapuolta pariutumiseen ja suvulliseen lisääntymiseen. Populaation ge- neettistä monimuotoisuutta tutkimalla voidaan saada lisätie- toa yksilöiden välisen pariutumisen todennäköisyydestä ja sitä kautta viitteitä myös siitä, tapahtuuko paikallisessa pahkapo- pulaatiossa leviämistä suvullisten itiöiden avulla.

4.1 PAHKAHOMETUTKIMUKSEN TOTEUTUS

VihTa-hankkeessa selvitettiin morfologiaan, DNA-tekniikkaan ja sekvensointiin perustuvien menetelmien avulla vihanneksia Etelä-Savossa infektivat pahkahomelajit. Lisäksi hankkeessa pyrittiin mikrosatelliitti-DNA-menetelmien avulla saamaan lisätietoa pahkahomepopulaatioiden monimuotoisuudesta Etelä-Savossa. Pahkahometta aiheuttavien sienien eristettiin pin- tasteriloiduista vihannesnäytteistä puhdasviljelmiksi vuosien 2009–2011 aikana. Puhdasviljelmiä kasvatettiin peruna-dek- stroosi-agarilla (PDA), joista ne tunnistettiin alustavasti pahka- homeiksi morfologisten ominaisuuksien perusteella.

4.1.1 PAHKAHOMETTA AIHEUTTAVIEN SIENIEN LAJINMÄÄRITYS

Pahkahome-isolaattien tarkempi lajinmääritys toteutettiin sekvensoimalla osa sienien ITS-2 (internal transcribed spa- cer) DNA-alueesta ja vertaamalla sitä BLAST-algoritmin avulla NCBI:n verkkosivuilla (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>) kansainvälisiin sekvenssitietokantojen vastaaviin sekvensseihin, sekä Holst-Jensenin ym. (1998) julkaisemaan *Sclerotiniaceae*-heimon ITS-sekvenssiaineistoon. Edelleen eri pahkahomelajeja pyrittiin erottamaan toisistaan tutkimalla polymeerasiketjureaktio (PCR) -pohjaisten menetelmien avul- la sisältääkö niiden 28S rRNA-geeni (LSU) ryhmä 1 -nimisen intronin (Group 1 intron). Holst-Jensenin (1998) mukaan *S. sclerotiorum*-lajin 28S rRNA-geenissä on noin 200 nukleoti- din mittainen ryhmän 1 introni, kun taas *S. subarctica* nom. prov. ja *S. minor*-lajeilta se tutkijoiden mukaan puuttuu. Tar- kemmat tiedot lajinmääritykseen sovelletuista menetelmistä on esitelty Li'in (2011) maisterintutkielmassa.

4.1.2 PAHKAHOMEPOPULAATIOIDEN MONIMUOTOISUUS ETELÄ-SAVOSSA

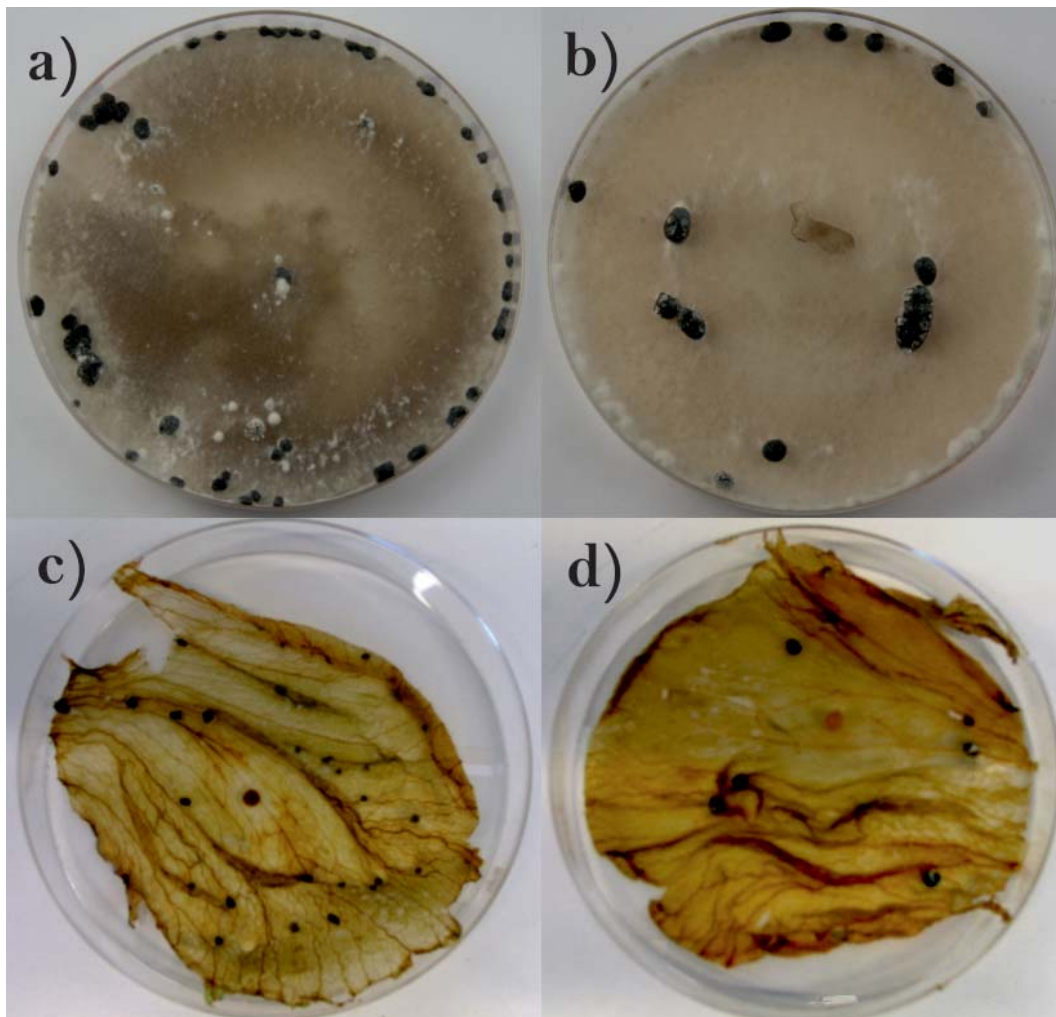
Pahkahomepopulaatioiden monimuotoisuutta tutkittiin mik- rosatelliitti-DNA-menetelmien perusteella. Tutkimuksiin käy- tettiin Sirjusinghin & Kohnin (2001) kuvaamia mikrosatelliit- teja 7-2, 13-2, 55-4, 110-4, sekä Wintonin ym. (2007) kuvaamia satelliitteja 01, 03, 05 ja 07. PCR-menetelmät toteutettiin Sir- jusinghin & Kohnin (2001) ohjeiden mukaisesti. Fragmentti- analyysi suoritettiin Helsingin yliopiston- Biotekniikan insti-

tuutissa ja analyysin tulokset tarkistettiin Peak Scanner™ v1.0 -ohjelmalla. Populaatiossa tapahtuvan satunnaispariutumisen todennäköisyyttä arvioitiin Multilocus 1.3b -ohjelmalla (Agapow & Burt 2001).

4.2 PAHKAHOMETTA VIHANNEKSILLE ETELÄ-SAVOSSA AIHEUTTAVAT *SCLEROTINIA*-LAJIT

Suurin osa vihanneksilta eristetyistä pahkahomeisolaateista tunnistettiin morfologian, ITS-2 alueen sekvenssien ja ryhmä 1 intronin havaitsemiseen perustuvien menetelmien *S. sclerotiorum* -lajiksi. Yllättäen osa kannoista tunnistettiin edellä mainittujen menetelmien perusteella *S. subarctica* nom. prov. -lajiksi. Molempia lajeja löydettiin samoilta vihanneksilta. Aiemmin vihanneksilta vain Alaskasta löydettyä *S. subarctica* nom. prov. -sientä eristettiin Etelä-Savossa parsakaalista, kurpitsasta, jäävuorisalaatista sekä roomansalaatista. Näistä parsakaalia voidaan pitää tieteelle uutena *S. subarctica* nom.

prov. -lajin isäntäkasvina. Lajin patogeenisuus testattiin jäävuorisalaatilla, jolle se aiheutti täysin samankaltaisia pahkahomeioireita kuin *S. sclerotiorum* (Kuva 7). Jäävuorisalaatin osalta myös Kochin postulaatit täytettiin, kun taudinaiheuttaja uudelleen eristettiin infektoiduista salaateista ja tunnistettiin rihmaston yhteneväisyyskokeen (MCG – mycelial compatibility group) avulla. Morfologian perusteella edellä mainitut lajit muistuttavat hyvin paljon toisiaan, joskin pahkojen koossa, niiden määrässä sekä puhdasviljelmien värissä PDA:lla on havaittavissa eroja (Kuva 1). Tyypillisesti *S. subarctica* nom. prov. muodostaa PDA:lla huomattavasti vähemmän pahkoja kuin *S. sclerotiorum*, joskin ne ovat tavallisesti suurempia kuin *S. sclerotiorum* -sienen muodostamat pahkat. Selkein ero morfologian perusteella liittyy puhdasviljelmien väriin, joka *S. subarctica* nom. prov. lajilla on pitkään puhtaan valkea, kun taas *S. sclerotiorum* -sienen puhdasviljelämä tummuu vanhemmiten selvästi. ITS-2 sekvenssien perusteella lajit ovat verrattain luotettavasti erotettavissa toisistaan ja muista *Sclerotinia*-suvun lajeista. Niin ikään Li' in (2011) ryhmän 1 intronin havainnointiin perustuva menetelmä osoittautui hyvin luotettavaksi ja nopeaksi keinoksi erottaa nämä kaksi morfologialtaan samankaltaista pahkahomelajia toisistaan.



Kuva 7. *S. sclerotiorum* ja *S. subarctica* nom. prov. -lajien morfologiset erot PDA:lla, sekä sienten aiheuttamat oireet jäävuorisalaatille. *S. subarctica* nom. prov. (b) muodostaa *S. sclerotiorum* -lajiin (a) verrattuna vähemmän pahkoja, jotka kuitenkin kooltaan ovat suurempia. Lisäksi eroja voidaan havaita kasvuston värissä. Patogeenisuuskokeissa *S. subarctica* nom. prov. (d) aiheutti täysin samankaltaisia pahkahomeioireita salaatille kuin *S. sclerotiorum* (c). (Kuvat: Hao-Xi Li, Juha Tuomola)

4.3 *S. SCLEROTIORUM* JA *S. SUBARCTICA* NOM. PROV. -LAJIEN MONIMUOTOISUUS ETELÄ-SAVOSSA

Pahkahomesienten monimuotoisuustutkimuksiin valittiin 23 *S. sclerotiorum* -isolaattia, jotka olivat kaikki kerätty vuosien 2010 ja 2011 aikana samalta salaattipelloilta Juvalta, sekä kaikki 11 tutkielmassa määritettyä *S. subarctica* nom. prov. -isolaattia. Mikrosatelliitti markkerit 7-2, 13-2, 55-4, 110-4 osoittivat 23 *S. sclerotiorum* -isolaatin sisältävän 13 eri genotyyppiä, kun taas *S. subarctica* nom. prov. -lajin osalta kaikki 11 isolaattia olivat markkerien 01, 03, 05 ja 07 mukaan geneettisesti toisistaan poikkeavia. *S. subarctica* nom. prov. -isolaattien määrä ei enää riittänyt luotettavampiin tilastollisiin analyyseihin. Sen sijaan *S. sclerotiorum* -lajin monimuotoisuutta analysoitiin edelleen Multilocus 1.3b -ohjelmalla, jonka tulosten mukaan tutkitussa *S. sclerotiorum* -populaatiossa tapahtuu yksilöiden välistä pariutumista (I_A -arvo 0,081, $P=0,18$). Tulokset viittaisivat suvulisten itiöiden kuuluvan osaksi lajin paikallista ekologiaa.

voitaisiin saada arvokasta lisätietoa esimerkiksi asianmukaisen viljelykierron toteuttamiseksi. Lisäksi olemassa olevan tiedon perusteella voitaisiin nopeasti selvittää erityyppisten rotujen esiintymistä Etelä-Savossa. Tämän tiedon avulla voitaisiin arvioida esimerkiksi sitä, kuinka pitkiä matkoja pahkahomeen koteloitiöt pystyvät leviämään (Li 2011, Tuomola ym. 2012b)

4.4 PAHKAHOMETUTKIMUKSEN JOHTOPÄÄTÖKSET

S. subarctica nom. prov. -lajin määrittäminen Etelä-Savosta oli tieteellisesti merkittävää. Käytännön viljelyn kannalta löydön merkitystä on kuitenkin olemassa olevan tiedon perusteella vaikea arvioida, koska toistaiseksi *S. subarctica* nom. prov. -lajista tiedetään vain hyvin vähän. Lisätietoa kaivattaisiin muun muassa lajin taudinaiheuttamiskyvystä eri isäntäkasveille. Esimerkiksi ylläpitääkö apila ja viljat maan *S. subarctica* nov prov. -populaatiota ja vaikuttaako niiden käyttö viljelykierrossa pahkahomeen esiintymiseen salaatti- ja kaalikasveilla. Lisäksi *S. subarctica* nom. prov. -lajin osalta olisi hyvä selvittää kuinka laajasti taudinaiheuttaja Suomessa esiintyy. *S. subarctica* nom. prov. -lajia on pidetty viileisiin ilmanoloihin sopeutuneena, eikä taudinaiheuttajaa löydetty lainkaan Etelä-Savosta poikkeuksellisen lämpimien kasvukausien 2010 ja 2011 aikana. Patogeenisyyskokeissa testattiin molempien löydettyjen *Sclerotinia*-lajien taudinaiheuttamiskykyä alhaisissa lämpötiloissa, mutta niissä ei kuitenkaan havaittu merkittävää eroa lajien välillä.

Molemmat pahkahomelajit osoittautuivat populaatiogeneettisissä analyyseissä hyvin monimuotoisiksi, mikä käytännössä tarkoittaa yksilöiden välisen pariutumisen olevan osa lajien paikallista ekologiaa. Käytännössä tämä tarkoittaa pahkahomeen leviävän Etelä-Savossa koteloitiöiden avulla. Monimuotoinen populaatio myös sopeutuu nopeasti muuttuviin olosuhteisiin ja lisää pahkahomeen taudinaiheuttamispotentiaalia pitkällä aikavälillä. Jatkossa olisi tärkeää selvittää muun muassa nyt havaittujen erityyppisten pahkahomeiden taudinaiheuttamiskykyä ja virulenttisuutta eri isäntäkasveilla. Tällä

5 VIHANNEKSILLA BAKTEERIMÄTÄÄ AIHEUTTAVIEN BAKTEEREIDEN TUNNISTUS, TAUDINAIHEUTTAJABAKTEERIEN LEVIÄMINEN JA TALVEHTIMINEN PELTOMAASSA

Viime vuosina bakteeritaudit ovat lisääntyneet Etelä-Savon vihanneviljelmillä ongelmallisten sääolosuhteiden vaikutuksesta. Bakteeritauteja esiintyy salaateilla, erityisesti jäävuorisalaatilla, parsakaalilla ja kiinankaalilla. Tautien taloudellinen merkitys on ammattiviljelijöille suuri, sillä sadonmenetys korjuuvaiheessa voi lajista ja lajikkeesta riippuen nousta paikoitellen jopa 50 %:iin.

Ensimmäinen askel tautien hallintatoimien kehittämiseksi on selvittää tautien tarkat syy-seuraussuhteet. Avomaavihanneksilla ilmenevien bakteeritautien osalta tämänkaltaista tieteellistä tutkimusta ei Suomessa ole juuri aikaisemmin toteutettu. Seuraava askel tautien hallintatoimien kehittämiseksi on tutkia tarkemmin tautien epidemiologiaa ja patogeenien ekologiaa. Oleellista on selvittää miten ja missä vaiheessa taudinaiheuttajat leviävät pellolle. Tärkeää on myös tietää säilyykö taudinaiheuttaja elossa maassa tai työvälineissä seuraavaan kasvukauteen vai saapuuko se kasveihin joka vuosi uudestaan esimerkiksi sateen, hyönteisten, siementen tai kasteluveden

välityksellä. Kasvipatogeenien leviämisen ja talvehtimisen selvittämisen tutkimuksen tueksi voidaan suorittaa patogeenien populaatorakennetta ja monimuotoisuutta selvittäviä tutkimuksia. Tällöin voidaan seurata erityyppisten kantojen esiintymistä ja leviämistä pidemmällä aikavälillä.

5.1 SALAATINBAKTEERIMÄTÄ

Jäävuorisalaatilla on Etelä-Savossa havaittu yhä useammin ikävää bakteerien aiheuttamaa mädäntymistä. Erityisesti lämpiminä kesinä tauti on paikoitellen tuhonnut suuria osia sadosta. Tyypillisesti oireet ilmenevät jäävuorisalaatilla kerän sisälehdissä ensin pieninä tummina laikkuina, jotka myöhemmin laajenevat ja alkavat mädäntyä. Tavallisesti kerän ulkolehdet säilyvät infektiossa vahingoittumattomina. Tosin vuonna 2011 oireita löytyi myös kerän ulkolehdistä (Kuva 9). Tauti on muodostunut tuotannon kannalta erityisen hankalaksi, koska sitä ei salaatin korjuuvaiheessa pystytä tehokkaasti havaitsemaan. Oireet muistuttavat erityisesti *Pseudomonas cichorii* -bakteerin aiheuttamaa ”varnish spot” -nimistä tautia (Grogan ym. 1977), joka 1970-luvulla muodostui nopeassa tahdissa jäävuorisalaatin vakavaksi kasvinsuojeluongelmaksi ympäri maailmaa. Myös muiden bakteerien, erityisesti muiden fluoresoivien pseudomonasten ja *Pectobacterium*- ja *Xanthomonas*-sukuihin kuuluvien bakteerien on huomattu aiheuttavat jäävuorisalaatille samankaltaisia oireita (Burkholder 1954, Tsuchiya ym. 1979).

5.2 PARSAKAALINBAKTEERIMÄTÄ

Parsakaalin kukintoon pesiytyvä bakteerimätä muodostuu Etelä-Savossa ongelmaksi erityisesti kosteina kesinä. Taudin ensimmäisiä oireita ovat parsakaalin kukintoihin muodostuvat tummat ja vetiset laikut, jotka edelleen kosteuden jatkuessa laajentuvat ja muuttuvat tummiksi pahanhajuisiksi bakteerimätäalueiksi (Kuva 10). Taudin kansainvälinen nimi on ”head rot of broccoli” (bacterial soft rot of broccoli, spear rot of broccoli) ja sen aiheuttajina pidetään *Pseudomonas*- ja *Pectobacterium*-sukujen kasvipatogeenieja (Brokenshire & Robertson 1986, Hildebrand 1989, Wimalajeewa 1987). Parsakaalinbakteerimätää tavataan lähes maailmanlaajuisesti ja se on



Kuva 8. Sateisena kesänä 2011 piilomätäoireita oli myös jäävuorisalaatin uloimmissa kerälehdissä. (Kuva: Hanna Avikainen)

yleinen sekä viileinä että lämpiminä kasvukausina. (Canaday ym. 1991). Erityisen tärkeä taudin esiintymisen kannalta on pitkään jatkunut kosteus parsakaalin kukintavaiheen aikana (Wimalajeewa 1987).

5.3 KIINANKAALINBAKTEERIMÄTÄ

Kiinankaalin bakteerimätäoireet ilmenevät tavallisesti varastoinnin yhteydessä. Tyypillisesti infektion ensi oireita ulompien lehtien mätäneminen, joka lähtee liikkeelle pääverson leikkauspinnalta ja jatkuu siitä pitkin lehden ulkopintaa johtojänteiden suuntaisesti. Lisäksi abioottisten häiriöiden seurauksena syntyneet vauriot ulkolehtien pinnalla saattavat alkaa varastossa bakteerien toimesta mädäntyä. Kiinankaalilla tunnetaan entuudestaan bakteerimätätauti, joka ilmenee pelolla tai varastossa ensin ruusukkeen ulkolehtien tyvillä. Sieltä tauti leviää ruusukkeen sisälehtiin ja aiheuttaa pahimmillaan koko kasvin mädäntymisen (Ren ym. 2001). Tauti on tuhoisa kiinankaaliviljelmillä sekä temperaattisilla (Balvoll 1995), että trooppisilla vyöhykkeillä. Erityisesti tauti muodostuu ongelmaksi kun kasvukauden ilmasto on lämmin ja kostea (Warner ym. 2003). Kyseisen taudin aiheuttajana pidetään yksinomaan *Erwinia carotovora* ssp. *carotovora* (*Pectobacterium carotovorum*) bakteeria. Taudin katsotaan olevan pääsääntöisesti maalevintäinen.

5.4 VIHANNESTEN BAKTEERITAUTI-TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

5.4.1 BAKTEERITAUTIEN SYY-SEURAUSSUHTEIDEN SELVITYS

Etelä-Savon vihannesviljelmiltä kerätyistä tautinäytteistä eristettiin bakteereja niiden eristämiseen soveltuville King's B ja CVP-ravintoalustoille (Cupples & Kelman 1974, King ym. 1954). Kaikki morfologialtaan erityyppiset bakteeripesäkkeet siirrostettiin puhdasviljelmiksi, joista *Pseudomonas*-suvun lajit tunnistettiin alustavasti niiden muodostaman fluoresoivan pigmentin perusteella. *Pseudomonas*-lajit tunnistettiin tarkemmin biokemiallisia ominaisuuksia mittaavan LOPAT-koesarjan perusteella (Lelliot ym. 1966) sekä sekvensoimalla osa bakteerien 16S rRNA-geenistä. Patogeenisyyskokeissa näytteistä eristettyjen bakteerien taudinaiheuttamiskyky testattiin infektoimalla niillä terveitä vihanneksia. Oireiden ilmaannuttua eristettiin oirekohdista bakteereja, jotka tunnistettiin fluoresoimisreaktion ja LOPAT-koesarjan avulla. Jäävuorisalaatilla esiintyvän bakteeritaudin etiologia selvitettiin 22 tautinäytteestä, jotka olivat kerätty vuosien 2009–2011 aikana neljältä eri vihannesviljelytilalta Etelä-Savosta. Parsakaalinbakteerimätää selvitettiin kymmenestä tautinäytteestä, jotka olivat kerätty kahdelta tilalta vuosien 2009 ja 2010 aikana. Kiinankaalinbakteerimätää selvitettiin vuosina 2009 ja 2011 varastoinnin yhteydessä



Kuva 9. Bakteerimätä aiheuttaa parsakaalin kukintoon vetisiä laikkuja. (Kuva: Juha Tuomola)

muodostuneista oireista. Yhteensä bakteereja sekä sieniä eristettiin viidestä eri kiinankaalinäytteestä. Tarkemmat tiedot määritystutkimukseen sovelletuista menetelmistä ja koejärjestelyistä on esitelty Tuomolan (2011) maisterintutkielmassa.

5.4.2 SALAATINBAKTEERIMÄTÄÄ AIHEUTTAVAN BAKTEERIN MONIMUOTOISUUS, LEVIÄMINEN JA TALVEHTIMINEN

Jäävuorisalaatilla esiintyvän bakteeritaudin aiheuttajaksi määritetyn bakteerin monimuotoisuutta Etelä-Savossa analysoitiin kaikkien lajimääritykseen käytettyjen menetelmien osalta, sekä sekvensoimalla osa taudinaiheuttajien hrp-alueen (hypersensitive reaction and pathogenicity) *hrcRST*-geeneistä. Sekvensointiin ja fylogeneettisiin analyyseihin valittiin 20 taudinaiheuttajaksi tunnistettua bakteeri-isolaattia, jotka olivat pääsääntöisin eristetty eri tautinäytteistä. Lisäksi fylogeneettisiin analyyseihin haettiin NCBI:n sekvenssitietokantaan (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) tallennettuja kansainvälisiä taudinaiheuttajabakteerin *hrp*-alueen sekvenssejä. Sovelletut menetelmät *hrcRST*-geenien monistamiseksi sekä fylogeneettisten analyysien toteuttamiseksi on esitelty Tuomolan (2011) maisterintutkielmassa.

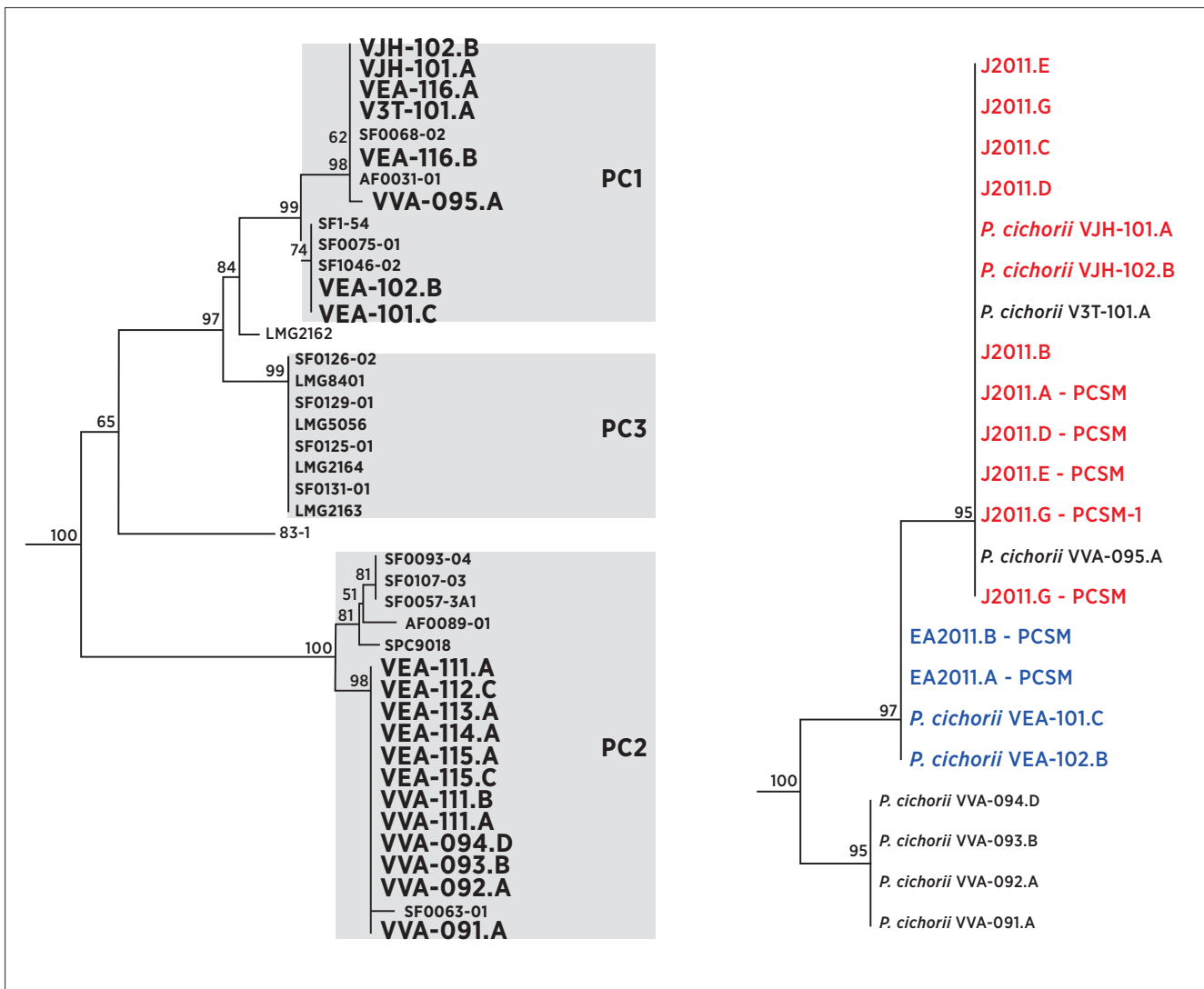
Jäävuorisalaatilla esiintyvän bakteeritaudin aiheuttajaksi määritetyn bakteerin talvehtimista peltomaassa tutkittiin keväällä 2011 kerätyistä kymmenestä peltomaanäytteestä, jotka kaikki sisälsivät myös maatumatonta salaattijätettä edelliseltä kasvukaudelta. Kaikista näytteistä eristettiin DNA:ta MoBio Laboratories Inc. PowerMax® DNA Isolation Kit -valmispakkauksen avulla valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kahdeksasta maanäytteestä eristettiin bakteereja pintahajotusmenetelmällä suoraan PCSM- ja PCM-1-selektiivialustoille (Jones ym. 1990, Uematsu ym. 1982). Maljoja inkuboitiin +28 °C:ssa seitsemän vuorokautta, minkä jälkeen maljalle rikastuneesta bakteerise-

kakasvustosta eristettiin DNA:ta Qiagen DNeasy Blood & Tissue Kit -valmispakkauksen avulla. Eristettyä DNA:ta monistettiin PCR:ssä Verbaendertin (2006) kuvaamalla F2- ja R1-alukkeilla, jotka spesifisesti monistavat patogeenin *hrp*-alueelta noin 230 nukleotidin mittaista DNA-fragmenttia. Monistuneiden fragmenttien koko ja silmämääräinen kvantifiointi suoritettiin geielektroforeesin avulla vertaamalla näytteitä ajossa mukana olleeseen kokostandardiin sekä useisiin tunnettuihin vertailukantoihin. Koe suoritettiin kolmena toistona kaikille näytteille. Silmin nähtävä oikeankokoinen DNA-fragmentti tulkittiin positiiviseksi. Kolmen selkeän positiivisen tuloksen jälkeen fragmentti eristettiin ja sekvenssoitiin tarkemman tunnistustuloksen saamiseksi. Sekvensseistä muodostettiin fylogeneettinen sukupuu samaan tapaan kuin *hrcRST*-kokeessa. Lisäksi fylogeneettisiin analyyseihin liitettiin sekvenssitietoja *hrcRST*-kokeesta sekä NCBI:n sekvenssitietokannasta.

5.5 BAKTEERIMÄTÄTUTKIMUKSEN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

5.5.1 SALAATINPIILOMÄTÄTAUDIN ETIOLOGIA JA EPIDEMIOLOGIA

Morfologisten ominaisuuksien, LOPAT-kokeiden, 16S rRNA-geenin sekvensointitulosten ja patogeenisyyskokeiden tulosten perusteella jäävuorisalaatilla esiintyvän laikku- ja mätätaudin ensisijaiseksi taudinaiheuttajaksi määritettiin *P. cichorii* -bakteeri. Kasvinsuojeluseuran sanastojaosto nimesi taudin hankkeen tutkimustulosten perusteella salaatinpiilomädäksi. Myös muut näytteistä eristetyt pseudomonakset aiheuttivat patogeenisyyskokeissa oireita salaatile. Nämä oireet olivat kuitenkin lähtökohtaisesti erilaisia kuin piilomätäinfektioissa, eikä yleisesti niin vakavia kuin *P. cichorii* -bakteerin aiheutta-



Kuva 10. Vasemmalla fenogrammi, joka on muodostettu Etelä-Savosta eristettyjen sekä NCBI:n tietokannasta haettujen *P. cichorii* -bakteerien 803 nukleotidin mittaisten *hrcRST*-sekvenssien perusteella. Kolme eri *P. cichorii* -ryhmää (PC1, PC2 ja PC3) näkyvät kuvassa tummennettuina. Etelä-Savosta eristetyt kannat ovat lihavoitu. Oikean puoleisessa kuvassa maanäytteistä muodostettu fenogrammi, joka on muodostettu Etelä-Savosta eristettyjen *P. cichorii* -bakteerien 223 nukleotidin mittaisten *hrc*-sekvenssien sekä maanäytteistä monistuneiden sekvenssien perusteella. Kuvassa punaisella on merkitty Juvalta vuonna 2010 eristettyjen *P. cichorii* -bakteerien (VJH-101.A ja VJH-102.B) *hrc*-sekvenssit, sekä samaiselta pellolta maanäytteistä vuonna 2011 (J2011.A, J2011.B, J2011.C, J2011.D, J2011.E, J2011.G) peräisin olevat sekvenssit. Sinisellä on merkitty Joroisista peräisin olevat maanäytteiden (EA2011.B ja EA2011.A) sekvenssit, sekä samalta pellolta vuonna 2010 tautisista näytteistä eristettyjen *P. cichorii* -bakteerien (VEA-101.C, VEA-102.B) sekvenssit. Molemmat sukupuut ovat muodostettu TREECON for Windows -ohjelmalla. Kantojen etäisyyksiä toisistaan arvioitiin Jukes & Cantorin evoluutiomallin avulla ja puun muodostukseen käytettiin NJ-algoritmia. Tuhannen bootstrapping-toiston tukiprosentit näkyvät puun haaraumakohdissa.

mat oireet. Todennäköisesti muut pseudomonakset esiintyvät pitkälle edenneissä salaatinpiilomätäinfektioissa sekundaarisina patogeeneinä.

Morfologisten ominaisuuksien ja *hrcRST*-sekvenssien perusteella Etelä-Savosta eristetyt *P. cichorii* -bakteerit jakaantuivat kahteen toisistaan selvästi poikkeavaan alaryhmään jotka hankkeessa nimettiin PC1- ja PC2-nimisiksi. Osa sekvenssitietokannan *P. cichorii* -bakteereista muodostivat fylogeneettisissa analyyseissä myös kolmannen *P. cichorii* -alaryhmän PC3 (Kuva 10). Määritetyt ryhmät vastaavat monelta osin hiljattain Belgiassa määritettyjä *P. cichorii* -alaryhmiä C1, C2 ja C3 (Cottyn ym. 2009, Cottyn ym. 2010). Bakteeria ei alustavissa tutkimuksissa löydetty salaatin siemenistä, kasvihuoneessa kasvatetuista nuorista taimista eikä avomaalla käytettävästä kasteluvedestä. Sen sijaan patogeeni onnistuttiin eristämään talven jälkeen peltomaanäytteistä, jotka sisälsivät maahan muokattua maatumatonta salaattijätettä. Maanäytteistä onnistuttiin monistamaan *P. cichorii* -bakteerin *hrc*-alueen DNA:ta sekä suoraan maasta että selektiivialustoilla rikastetusta bakteerisekaviljelmistä. Sekvensseistä muodostetussa fylogeneettisessa sukupuussa oli selkeästi havaittavissa maanäytteistä monistuneiden sekvenssien yhdenmukaisuus aiemmin Etelä-Savosta eristettyjen *P. cichorii* -vertailukantojen vastaaviin sekvensseihin. Koska *P. cichorii* -bakteeri pystyi talven jälkeen rikastumaan kokeissa käytetyillä selektiivialustoilla, voidaan sen maassa talvehtivaa populaatiota pitää hyvinkin elinvoimaisena. Maanäytteiden *P. cichorii* -bakteerit olivat analysoidun sekvenssialueen perusteella täysin identtisiä niiden *P. cichorii* -bakteerien kanssa, jotka olivat eristetty samaisilta pelloilta edellisenä kesänä (Kuva 11). Myöhemmin monimuotoisuus-analysin perusteella huomattiin että identtisiä bakteerikantoja löytyi vuosittain samojen tilojen eri pelloilta, mikä viittaa siihen, että taudinaiheuttaja leviää tehokkaasti esimerkiksi käytettävän työkaluston mukana. Laboratoriokokeissa Etelä-Savosta eristetyt *P. cichorii* -bakteerit aiheuttivat voimakkaita taudinoreita jäävuorisalaatin lisäksi myös kiinankaaliin ja roomansalaattiin, sekä lieviä oireita valkokaaliin. Parsakaalia bakteerit eivät ole sen sijaan kyenneet millään tavoin vahingoittamaan laboratoriokokeissa.

Salaatinpiilomädän torjuntaan voidaan VihTa-hankkeen tutkimuksen perusteella suositella viljelykiertoa ja hyvän viljelyhygienian noudattamista. Infektoituneen salaattijätteen poiskeräämistä pidetään suotavana, mutta käytännössä se lie-

nee mahdotonta toteuttaa. Tautihavainnot kannattaa kirjata tarkasti ylös viljelymuistiinpanoihin, ja hyödyntää muistiinpanoja seuraavan vuoden viljelyn suunnittelussa. Lisätietoa kuitenkin edelleen tarvitaan muun muassa eri jäävuorisalaattilajikkeiden alttiudesta piilomätätaudille (Tuomola 2011, Tuomola ym. 2012a, Tuomola ym. 2012b)

5.5.2 PARSAKAALIN- JA KIINANKAALIN-BAKTEERIMÄDÄN AIHEUTTAJAT

Etelä-Savossa parsakaalin- ja kiinankaalinbakteerimädän aiheuttajiksi määritettiin *Pseudomonas*-suvun mädättäjäbakteerit. Pitkälle edenneistä infektiosta saattoi olla löydettävissä myös sienitaudinaiheuttajia, kuten harmaahometta. LOPAT-kokeiden ja 16S rRNA-geenin sekvensointitulosten perusteella parsakaalilta ja kiinankaalilta eristetyt bakteerimätää aiheuttavat pseudomonakset kuuluvat *P. fluorescens* tai *P. putida* -lajiryhmiin. Bakteerit toimivat maaperässä todennäköisesti ensisijaisesti kuolleen aineksen hajottajina. Eristetyt bakteerit aiheuttivat laboratoriokokeissa mätänemisoireita useille eri vihanneksille, riippumatta siitä, kummasta isäntäkasvista ne olivat alun perin eristetty. Tosin parsakaalille tautioireita patogeenisyysskokeissa aiheutti vain hyvin pieni joukko *P. fluorescens* -lajiryhmän bakteereja, jotka olivat myös alun perin eristetty parsakaalinbakteerimätänäytteistä.

Ensisijassa kuolleen aineksen hajottajina toimivia sekundaarisia kasvipatogeeneja vastaan on vaikea löytää tehokkaita torjuntakeinoja, koska ne ovat tyypillisesti luonnostaan osa viljelyekosysteemiä. Kiinankaalin ja parsakaalin mätätautien vakavuus riippuu paljolti sääolosuhteista sekä lajikeominaisuuksista. Esimerkiksi kartiomallisissa parsakaalilajikkeissa ylimääräinen vesi valuu kukinnon päältä tehokkaasti pois, eikä mätäoireita pääse helposti syntymään sateisinakaan kesinä. Myös parsakaalin korkean glukosinolaattipitoisuuden on havaittu ehkäisevän parsakaalinmätää aiheuttavien *Pseudomonas*-bakteerien kasvua (Charron ym. 2002). Todennäköisesti korkean glukosinolaattipitoisuuden omaavissa parsakaalilajikkeissa myös taudinkestävyys on parempi. Kiinankaalin varastokestävyyden määrittää pitkälti käytetty lajike sekä loppukauden sääolosuhteet. Kaikkien bakteeritautien ennalta ehkäiseviä toimenpiteitä ovat kastelun vähentäminen ja viljely korotetuissa penkeissä (Tuomola ym. 2012a)

6 PAHKAHOMEEN TORJUNTA BIOLOGISTEN TORJUNTAVALMISTEIDEN AVULLA

Pahkahome on pitkäaikaisen vihannesviljelyn seurauksena muodostunut vihannesviljelyn vakavimmaksi kasvinsuojeluongelmaksi Etelä-Savossa. Tavanomaisesti viljelyssä pahkahometta torjutaan pääsääntöisesti kemiallisten torjunta-aineiden avulla, mutta integroidun kasvinsuojelun periaatteiden mukaisesti torjunnan tulisi tulevaisuudessa perustua ensisijaisesti muihin menetelmiin. Biologisilla torjuntavalmisteilla rikkas-kasvien, kasvitautien ja tuholaisten aiheuttamia kasvinsuojeluongelmia hallitaan luonnon omia keinoja hyväksi käyttäen. Biologisia torjunta-aineita pidetään ekologisesti kestävinä ja ympäristöystävällisinä torjuntamenetelminä ja niiden käyttö on yleisesti hyväksytty myös luomutuotannossa.

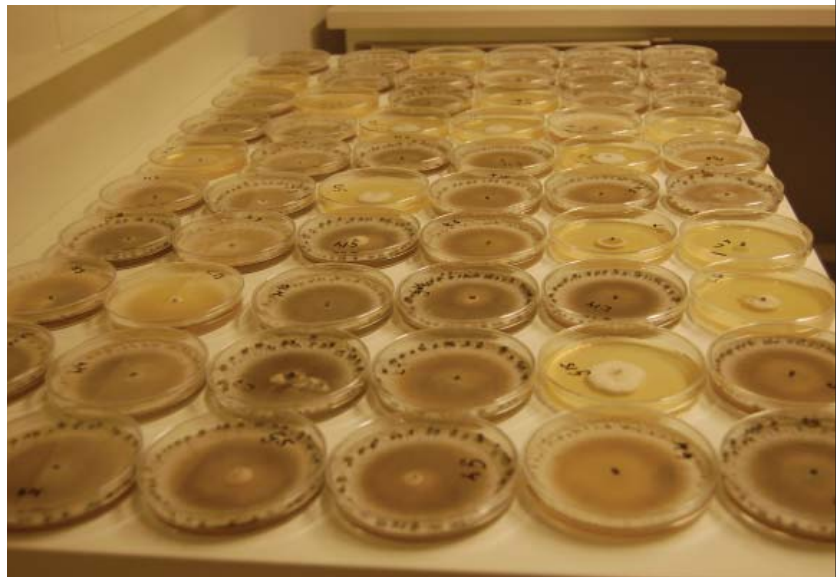
Euroopan markkinoilla on käytössä pahkahomeen torjuntaan hyväksytty Contans®WG -valmiste, jonka perustana on pahkoissa loisiva *Coniothyrium minitans* -sieni. Ulkomailla suoritetuissa kokeissa valmiste on osoittautunut melko lupaavaksi pahkahomeen torjunnassa (Pratt 1993). Suomessa valmistetta ei ole rekisteröity, eikä sen vaikutuksesta kotimaisiin pahkahomekantoihin ole olemassa paljoa julkaistua tietoa. Vihannesten juuristotauteja vastaan voidaan soveltaa myös kotimaisia Mycostop® (*Streptomyces griseoviridis*) ja Prestop® (*Gladiolium catenulatum* J1446) -biotorjuntavalmisteita. VihTa-hankkeessa tavoitteena oli testata Contans®WG -valmisteen soveltuvuutta hankkeessa vihanneksilla eristettyjen pahkahomeiden (*S. sclerotiorum*) torjuntaan. Tutkimus toteutettiin laboratorio- ja kenttäkokeiden avulla. Lisäksi kokeissa testattiin kotimaisten Mycostop® ja Prestop® -valmisteiden tehoa pahkahomeen torjuntaan.

6.1 BIOLOGISTEN TORJUNTAVALMISTEIDEN VAIKUTUSTA MITTAAVAN TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

6.1.1 MALJAKOKEET LABORATORIOSSA

Laboratorio-olosuhteissa suoritetuissa maljakokeissa testattiin kaikkien kolmen valmisteen soveltuvuutta pahkahomeen torjuntaan. Hankkeessa aiemmin Etelä-Savosta eristettyjä pahkahomeita (*S. sclerotiorum*) kasvatettiin puhdasviljelminä peruna-dekstroosi-agarilla (PDA). Kokeisiin käytettiin sienien puhdasviljelmille muodostamia rihmastopahkoja. Pahkoja liotettiin kaksi tuntia tutkittavissa liuoksissa (steriili vesi, 0,5 % w/v Prestop®, 0,05 % w/v Mycostop® tai 1 % w/v Contans®WG),

minkä jälkeen pahkat kuivattiin ja asetettiin keskelle steriiliä PDA-maljaa. Maljoja säilytettiin huoneenlämmössä pimeässä ja rihmaston kasvua mitattiin päivittäin kahden vuorokauden kuluttua maljauksesta (Kuva 11). Lisäksi havainnoitiin uusien rihmastopahkojen muodostuminen. Maljauskoe suoritettiin neljänä toistona.



Kuva 11.

Biotorjuntavalmisteiden tehokkuutta mitattiin seuraamalla aineilla käsiteltyjen pahkahomeiden kasvua petrimaljoilla. (Kuva: Hanna Avikainen)

6.1.2 ASTIAKOKEET KASVIHUONEELLA

Astiakokeissa torjuntavalmisteiden tehoa pahkahometta vastaan testattiin peruslannoitetussa kasvuturpeessa (N14-P4-K20). Kasvualusta purkitettiin litran muoviruukkuihin ja jokaiseen ruukkuun haudattiin kolmen senttimetrin syvyyteen kaksi noin 4 x 4 cm kokoista kuituverkkopussia, jotka sisälsivät kukin kymmenen samankokoista pahkahomeen rihmastopahkaa. Purkkien pinnalle ruiskutettiin 2 ml tutkittavaa valmistetta (steriili vesi, 0,5 % w/v Prestop®, 0,05 % w/v Mycostop® tai 0,4 % w/v Contans®WG). Aine sekoitettiin alustan pintakerrokseen ja purkit peitettiin muovikalvolla. Toistoja oli viisi ja koejärjestelynä täydellisesti satunnaistettu koe. Kasvatus tapahtui huoneenlämmössä pimeässä.

Ensimmäinen rihmastopahkapussi kaivettiin alustasta kahden kuukauden kuluttua käsittelystä ja toinen kolmen kuukauden kuluttua käsittelystä. Pahkat pintasteriloitiin 2 %

natriumhypokloriitti-liuoksessa (1,5 min) ja 96 % etanolissa (1,5 min) ja huuhdeltiin kolme kertaa steriilissä vedessä. Lyhyen kuivahtamisen jälkeen pintasteriloidut rihmastopahkat maljattiin 50 µg/l streptomysiiniä sisältäville steriileille PDA-maljoille. Maljojen kasvatus ja rihmaston kasvun seuranta toteutettiin kuten maljakokeessa. Astiakokeet suoritettiin kahtena toistona.

6.1.3 KENTTÄKOKEET ETELÄ-SAVOSSA

Kenttäkokeissa testattiin Contans®WG -valmisteen tehoa pahkahometta vastaan käytännön olosuhteissa. Kenttäkokeet toteutettiin Mikkelissä pienruutukokeena puutarhapalstalla sekä salaattiviljelmällä. Rihmastopahkoja sisältäviä kuituverkko-pusseja haudattiin Contans®WG ja Prestop® -valmisteilla käsiteltyyn multa 5–10 cm:n syvyyteen kesäkuun alussa. Pahkapussit kaivettiin maasta kolmen kuukauden kuluttua, minkä jälkeen pahkat pintasteriloitiin kuten astiakokeessa. Lyhyen kuivahtamisen jälkeen pintasteriloidut rihmastopahkat maljattiin 50 µg/l streptomysiiniä sisältäville steriileille PDA-maljoille. Maljojen kasvatus tapahtui huoneenlämmössä pimeässä ja rihmaston kasvua mitattiin päivittäin kahden vuorokauden kuluttua maljauksesta. Koe toteutettiin samanlaisena vuosina 2010 ja 2011. Vuoden 2011 kokeessa biotorjunta-aineiden tehoa testattiin *S. sclerotiorum* -pahkahomeen lisäksi myös *S. subarctica* nov. prov. -lajiin.

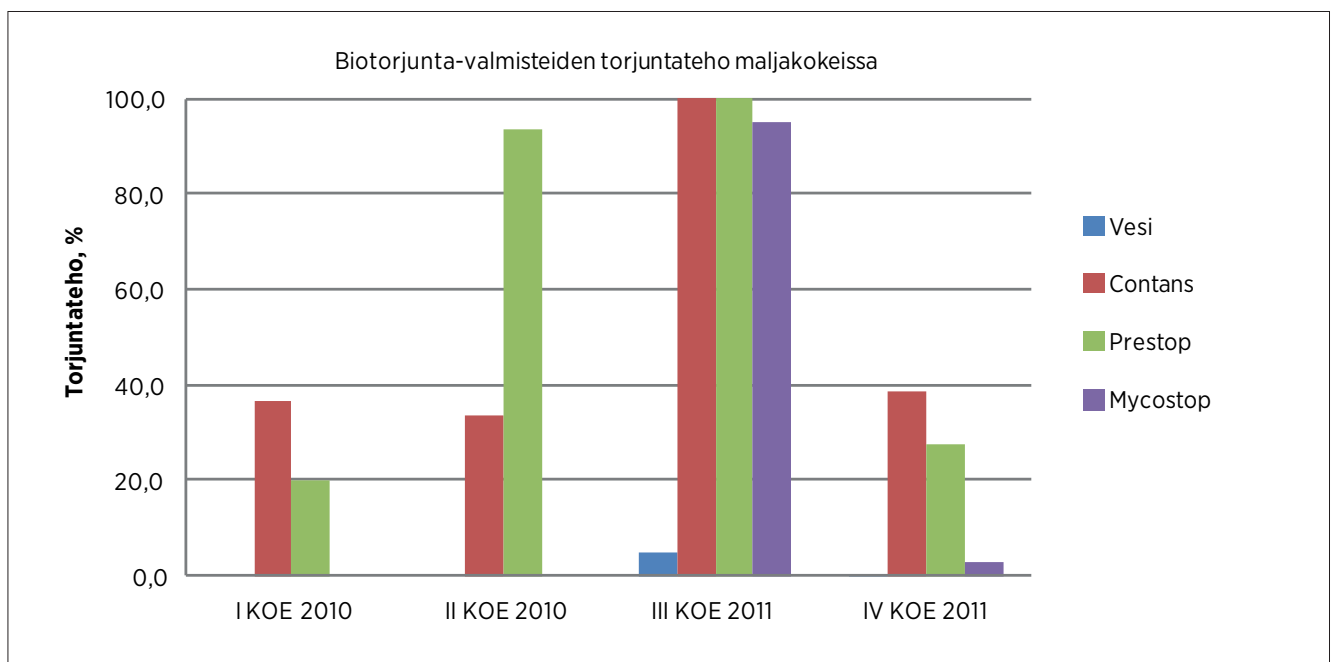
Osa salaattiviljelmällä toteutetusta koealueesta oli käsitelty biotorjuntavalmisteella ja osa alueesta jätettiin käsittelemättä. Jäävuorisalaatit istutettiin pellolle kahden viikon kuluttua käsittelystä ja niiden sato korjattiin kahdeksan viikon kuluttua käsittelystä. Koealueelta laskettiin saatu salaattisato sekä tautien tuhoamat kerät.

6.2 BIOLOGISTEN TORJUNTA-AINEIDEN VAIKUTUS PAHKAHOMETTA VASTAAN

6.2.1 MALJAUSKOKEEN TULOKSET

Contans®WG ja Prestop® -valmisteet rajoittivat tai ehkäisivät pahkahomeen kasvua kaikissa kokeissa kontrolliin verrattuna (Kuva 12). Contans®WG -valmisteen torjuntavaikutus oli noin 40 % ensimmäisessä, toisessa ja viimeisessä kokeessa. Prestop® -käsittelyissä oli selittämätöntä vaihtelua kokeiden välillä. Ensimmäisessä ja viimeisessä kokeessa Prestop® -valmisteen torjuntavaikutus oli alle 40 %, kun taas toisessa kokeessa se oli peräti 90 %. Kolmannessa kokeessa käytettyjen rihmastopahkojen elinvoimaisuus oli kuivuuden vuoksi voimakkaasti heikentynyt, minkä johdosta sienten kasvuun lähtö oli poikkeuksellisen hidasta. Siten kaikki torjuntaeliöt ehtivät valloittaa pahkat ja estää rihmaston kasvun, eikä kokeen tuloksia siten voida pitää luotettavina.

Pahkahomeen uusia rihmastopahkoja alkoi muodostua 4–5 vuorokauden kuluttua maljauksesta. Rihmastopahkojen muodostus oli hitainta Contans®WG -käsittelyssä. Muutaman viikon kuluttua maljauksista Prestop® -valmisteella käsitellyistä rihmastopahkoista muodostuneet uudet rihmastopahkat olivat täysin torjuntaeliön asuttamia, eikä pahkoista enää kasvanut pahkahometta uusille PDA-maljoille maljattaessa. Mycostop® -valmiste ei maljakokeissa estänyt pahkahomeen rihmaston kasvua, eikä uusien pahkojen muodostumista maljoilla.



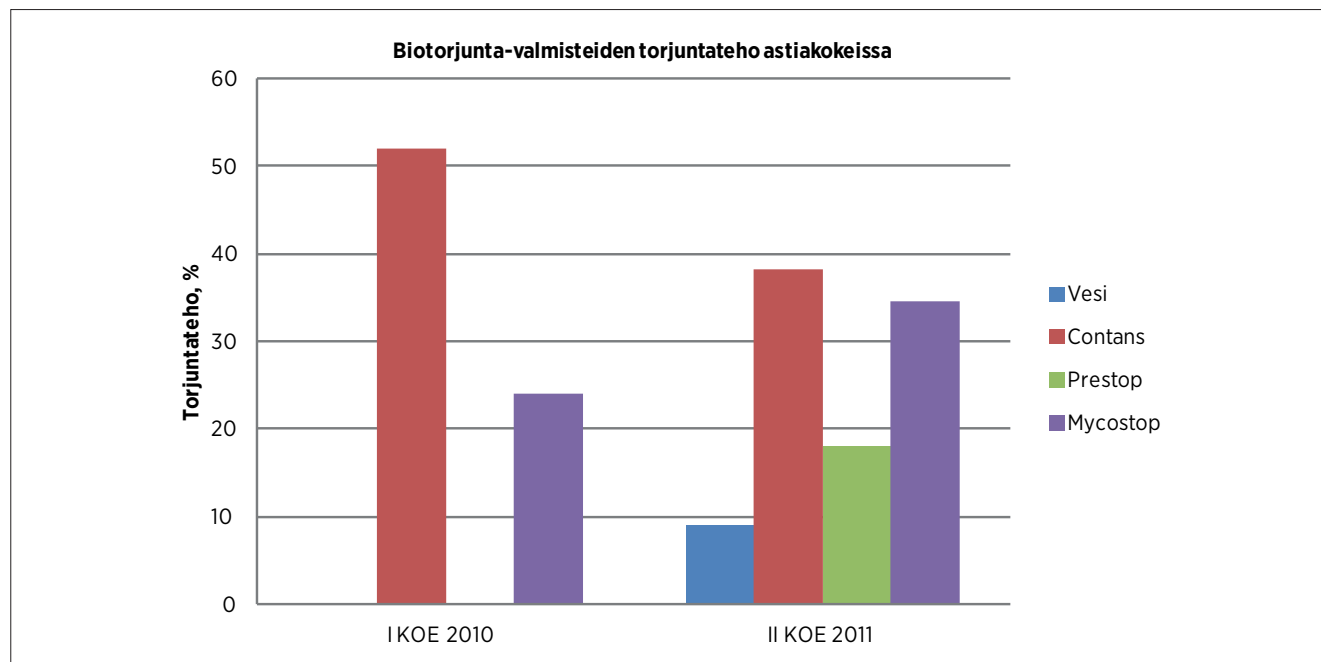
Kuva 12. Biotorjuntavalmisteiden torjuntateho-% verrattuna kontrollina kasvaneen pahkahomeen rihmaston kasvuun maljakokeissa.

6.2.2 ASTIAKOEIDEN TULOKSET

Ensimmäisessä kokeessa kahden kuukauden kuluttua käsittelystä Contans®WG ja Prestop® -valmisteet molemmat hidastivat pahkahomeen kasvua, mutta eivät täysin estäneet sitä. Kolmen kuukauden kuluttua Contans®WG -valmiste oli vähentänyt pahkahomeen kasvua hieman yli 50 % kontrolliin verrattuna (Kuva 13.). Lisäksi Contans®WG -käsittelyn pahkoista osa oli täysin tuhoutunut. Mycostop® -käsittelyn torjuntavaikutus ensimmäisessä kokeessa oli noin 20 %. Myös Mycostop® -kä-

sittelyssä muutama rihmastopahka oli täysin tuhoutunut. Prestop® -valmisteella ei ollut vaikutusta pahkahomeen rihmaston kasvuun kolmen kuukauden kuluttua käsittelystä.

Toisessa astiakokeessa kaikki biotorjuntavalmisteet hidastivat pahkahomeen kasvua. Contans®WG ja Mycostop® -valmisteet rajoittivat tai ehkäisivät kokeessa pahkahomeen rihmaston kasvua keskimäärin noin 30 % kontrolliin verrattuna, kun taas Prestop® -valmisteen kasvua ehkäisevä vaikutus oli hieman alle 20 %.



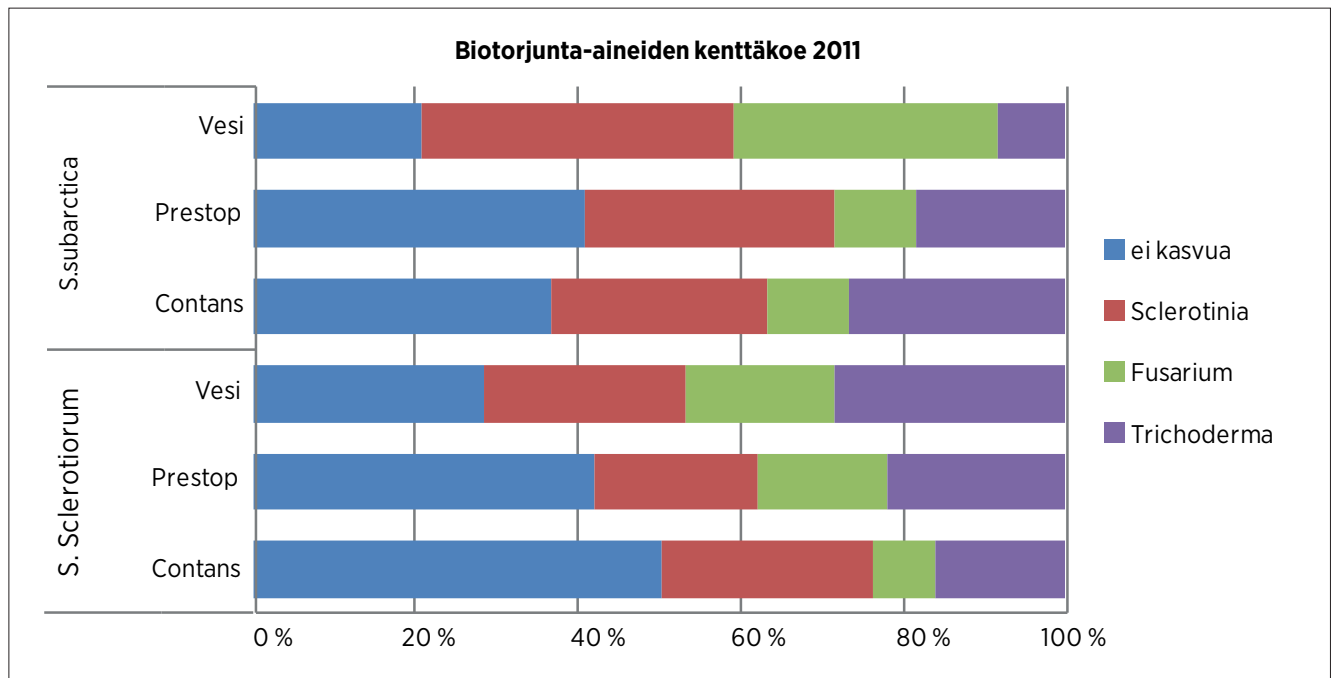
Kuva 13. Biotorjuntavalmisteiden torjuntateho-% verrattuna kontrollina kasvaneen pahkahomeen rihmaston kasvuun astiakokeissa kolmen kuukauden kuluttua käsittelystä.

6.2.3 KENTTÄKOEIDEN TULOKSET

Vuonna 2010 toteutetussa kenttäkokeessa ei saatu vertailukelpoisia tuloksia Contans®WG -valmisteen tehosta pahkahometta vastaan, koska maahan haudatut rihmastopahkat olivat kaikki kontaminoituneet *Fusarium*-sienillä. Rihmastopahkojen pintasterilointi ei tehonnut *Fusarium*-sieniin riittävän tehokkaasti, jotta niistä olisi päästy eroon maljauvaiheessaan. Myöskään selvää tulosta ei saatu Contans®WG -valmisteen vaikutuksesta koepellolla kasvatetun jäävuorisalaatin tauti-

suuteen, koska helteisen ja kuivan kesän vuoksi pahkahometta esiintyi salaattilla poikkeuksellisen vähän. Käsittelyllä ei myöskään ollut vaikutusta salaattisatoon.

Vuonna 2011 toteutetussa kenttäkokeessa pintasteriloiduista rihmastopahkoista kasvoi pahkahomeen lisäksi muitakin sieniä, pääasiassa *Fusarium*- ja *Trichoderma*-lajeja. Contans®WG ja Prestop® -valmisteilla oli lievä vaikutus rihmastopahkoista kasvaneiden sienten määrään (Kuva 14). Vaikutus ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkittävä.



Kuva 14. Biotorjuntavalmisteiden vaikutus pahkahomeen elivoimaisuuteen ja muihin pahkoista itäneisiin sieniin vuoden 2011 kenttäkokeessa.

6.3 BIOTORJUNTA-AINEIDEN POTENTIALI PAHKAHOMEEN TORJUNNASSA

Laboratoriokokeiden tulokset torjuntavalmisteiden tehosta vaihtelivat varsin paljon. Prestop®-valmiste oli maljatestauksessa tehokkain, mutta astiakokeissa sillä ei ollut merkittävää vaikutusta pahkojen itämiseen. Todennäköisesti aineiden tehokkuus on riippuvaista torjuntaeliöiden ja kohde-eliöiden elinvoimaisuudesta, joihin oleellisesti vaikuttaa se missä olosuhteista valmisteita ja vertailukantoja on säilytetty.

Contans®WG -valmisteen torjuntavaikutus oli sekä malja- että astiakokeissa kohtalainen. Contans®WG -valmisteen käyttöohjeissa suositellaan 2-3 kuukauden vaikutusaikaa rihmasto-pahkojen torjuntaan, minkä hankkeessa suoritettu astiakoe varmisti. Avomaalla olosuhteet vaihtelevat laboratorio-oloja huomattavasti enemmän, mikä vaikuttaa sekä pahkahomeeseen, biotorjuntaeliöön että biotorjuntavalmisteen tehokkuuteen. Siten Contans®WG -valmisteen tehokkuudesta avomaaviljelyssä ilmenevän pahkahomeen hallintamenetelmänä Suomessa tarvitaan lisätutkimusta. Toistaiseksi viljelijän kannattaa ohessa tutkittujen biotorjuntavalmisteiden sijaan turvautua muihin menetelmiin pahkahomeen torjunnassa (Avikainen 2011)

7 BIOFUMIKAATION HYÖDYNTÄMINEN VIHANNESTEN KASVITAUTIEN TORJUNNASSA

Maan desinfiointiin tarkoitettujen synteettisten torjunta-aineiden käytön kiellon vuoksi biofumikaatiotutkimus on lisääntynyt viime vuosina eri puolilla maailmaa. Suomessa maan desinfiointiin ei ole ollut käytössä yhtään hyväksyttyä kemikaalia 1970-luvun jälkeen, jolloin metyylibromidin käyttö kiellettiin. Kasveissa luontaisesti esiintyviä puolustusyhdisteisiin lukeutuvia glukosinolaatteja on mahdollista hyödyntää maalevintäisten kasvipatogeenien torjunnassa biofumikaation eli luonnonmukaisen maan desinfioinnin avulla. Biofumikaation maata desinfioiva vaikutus perustuu ristikukkaiskasveissa luontaisesti esiintyvien glukosinolaattien herkästi kaasuuntuviin hajoa-mistutuotteisiin. Kasvien puolustuskemikaaleina pidetyt glukosi-nolaatit ovat myrkyttämiä yhdisteitä, mutta niiden hajoaminen entsyymaattisesti tai mikrobihajotuksen avulla vapauttaa isoti-osyanaattiyhdisteitä (ITC), jotka ovat suurina pitoisuuksina esiintyessään eläville organismeille myrkyllisiä.

Käytännössä biofumikaatiolla tarkoitetaan biofumikaatiokäyttöön jalostetun ristikukkaiskasvin biomassan sekoittamista kasvualustaan. Biofumikaatiokasveja voidaan käyttää viljelykierrossa viherkesantona, tai muualta tuotua kasvijätettä, siemenpuristetta tai kuivattua ja pelletoitua kasvipuristetta voidaan levittää pelloille. Ristikukkaiskasveista sinapilla on mitattu korkeita glukosinolaattipitoisuuksia ja entsyymaattisessa hajotuksessa syntyviä isotiosyanaattipitoisuuksia, min-kä takia sitä on kaupallisesti jalostettu biofumikaatiokasviksi, jota on mahdollista hyödyntää kasvualustojen desinfioinnissa luonnonmukaisessa ja tavanomaisessa kasvintuotannossa. Biofumikaatio saattaa vaikuttaa heikentävästi myös viljeltävän kasvin kasvuun ja kehitykseen, mikäli varo aika käsittelyn ja istutuksen välillä on liian lyhyt. Myrkytysoireet näkyvät tyy-pillisesti kasvien heikkona kasvuna ja vaaleana värinä (Oleszek 1987).

Pahkahome on pitkäaikaisen vihannesviljelyn seurauk-se-na muodostunut vihannesviljelyn vakavimmaksi kasvinsuo-jeluongelmaksi Etelä-Savossa. Luonnonmukaisen kasvintuo-tannon lisääntymisen myötä myös pahkahomeen torjuntaan kaivataan uusia keinoja. Biofumikaatiokäsittelyllä on todettu olevan pahkahometta heikentävä vaikutus maljatestauksissa (Manici ym. 1997, Fan ym. 2008) ja kenttäkokeessa yhdistetty-nä katteen käyttöön (Daugovish ym. 2004). VihTa-hankkeessa tutkittiin kaupallisten bitorjuntaan jalostettujen ristikukkais-kasvien kasvatusta Etelä-Savossa, sekä niiden torjuntatehoa pahkahometta vastaan. Lisäksi tutkittiin biofumikaation vai-kutusta salaatinpiilomättää aiheuttavan *Pseudomonas cichorii* -bakteerin kasvuun. Tutkimus biofumikaatiokasvien vaikutuk-

sesta pahkahometta vastaan toteutettiin ensin laboratorio- ja kasvihuonekokeina, joiden tuloksia hyödynnettiin myöhem-mässä vaiheessa Etelä-Savon vihannestiloilla ja MTT:n koeti-lalla Karilassa suoritetuissa kenttäkokeissa. Tutkimus biofu-mikaatiokasvien vaikutuksesta *P. cichorii* -bakteerin kasvuun toteutettiin laboratoriokokeena.

7.1 BIOFUMIKAATIOTUTKIMUKSEN TOTEUTUS

7.1.1 BIOFUMIKAATIOTUTKIMUKSEN KASVIHUONEKOKKEET PAHKAHOMEELLA

Biofumikaatiotutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli sel-vittää biofumikaatioon jalostettujen ristikukkaiskasvien vai-kutusta kotimaisiin pahkahomekantoihin. Tutkimus toteutet-tiin kasvihuoneessa, jossa testattiin kasvualustaan seostetun murskatun biofumikaatiokasvuston vaikutusta pahkahomeen (*Sclerotinia sclerotiorum*) rihmastopahkojen elinvoimaisuuteen. Käytössä olleet pahkahomeen puhdasviljelykannat olivat eristetty eteläsavolaisilta vihannestiloilta edellisenä kesänä ja niitä oli ylläpidetty laboratorio-oloissa. Biofumikaatiokasvei-na tutkimuksessa käytettiin isobritannialaisia Caliente Brand Mustard -jalosteita C119 ja C199 (Plant Solutions), sekä hol-lantilaista (Joordens Zaden BV) keltasinappijalostetta (*Sinapis alba*) 'Architekt'. Caliente-kasveista C119-seos sisältää sarep-tansinappia (*Brassica juncea*) ja keltasinappia, kun taas C199-kasvit sisältävät pelkästään sareptansinappia.

Biofumikaatiokasvit kasvatettiin kasvihuoneessa Kekkilän Taimiseoksessa ja niiden lannoittamiseen käytettiin Kekki-län Kukka-Superex-kastelulannoitetta (N11-P3-K26-S3). Ku-kinnan ollessa puolivälissä kasvien maanpäällinen biomassa hienonnettiin sauvasekoittimella ja sekoitettiin kasvualustaan siten, että biofumikaatiokasvin osuudeksi tuli 1 tai 5 % maan kuiva-aineesta (kp/kp). Kasvialustan kosteus säädettiin 60–70% w/w ja se purkittiin 2,5 litran muoviruukkuihin. Jokai-seen ruukkuun haudattiin 10 cm syvyyteen kaksi noin 4 x 4 cm kokoista kuituverkkopussia, jotka sisälsivät kukin kymmenen samankokoista (Æ 2–3 mm) pahkahomeen rihmastopahkaa. Jokaisessa käsittelyssä oli kuusi muoviruukkua, joita pidettiin kokeen aikana kasvihuoneessa huoneenlämmössä. Kasvialus-tan kosteutta ylläpidettiin kokeen ajan 60–70%:ssa. Pahkapus-sit kaivettiin ruukuista neljän viikon kuluttua kokeen aloituk-

sesta, minkä jälkeen pahkat pintasteriloitiin 2 % natriumhypokloriitti-liuoksessa (1,5 min.) ja 96 % etanolissa (1,5 min) ja huuhdeltiin kolme kertaa steriilissä vedessä. Lyhyen kuivatuksen jälkeen pintasteriloidut rihmastopahkat maljattiin 50 µg/l streptomysiiniä sisältäneille steriileille PDA-maljoille. Pahkoista kasvaneen sienirihmaston halkaisija mitattiin 4, 6, 8 ja 11 vuorokauden kuluttua maljauksesta. Biokumikaatiokasvien vaikutusta pahkahomeen kasvuun testattiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Tilastolliset analyysit tehtiin IBM SPSS 20 ohjelmalla

7.1.2 BIOFUMIKAATIOTUTKIMUKSEN LABORATORIOKOEKKEET *PSEUDOMONAS CICHORII*-BAKTEEREILLA

Kokeessa käytetyt *P. cichorii*-kannat olivat eristetty eteläsavolaisilta vihannestiloilta. Bakteereja kasvatettiin King's B -agarilla vuorokausi +28 °C:ssa, minkä jälkeen kasvustoa sekoitettiin steriiliin 10 mM MgCl₂ -puskuriliuokseen. Infektiosuspension konsentraatio säädettiin spektrofotometrin avulla 1,0 x 10⁸ pmy/ml – 2,5 x 10⁸ pmy/ml välille. Tästä muodostettiin 10 x laimennossarja (10⁻⁴–10⁻⁸), joista bakteereja maljattiin pintalevitysmenetelmällä uusille King's B -agarmaljoille.

Biofumikaatiokasveja C119 ja C199 sekä verranteena englanninraiheinää (*Lolium perenne*) (RAI) kasvatettiin kasvihuoneessa ja lannoitettiin samaan tapaan kuin aiemmassa kasvihuonekokeessa. Kukkimisen alkuvaiheessa kasvien maanpäällinen biomassa hienonnettiin ja sitä asetettiin bakteerimaljojen kannen sisäpuolelle siten, ettei se ollut fyysisesti missään vaiheessa kontaktissa puhdasviljelmänä kasvaneen *P. cichorii* -kasvuston kanssa. Kokeessa testattiin kuiva-aineen perusteella kahden eri kasvimäärän (0,5g ja 0,1g) vaikutusta *P. cichorii* -bakteerien kasvuun. Jokaisesta käsittelyn ja laimennoksen yhdistelmästä tehtiin viisi toistoa. Maljoja inkuboitiin +28°C:ssa ja muodostuneiden bakteeripesäkkeiden määrä ja keskimääräinen halkaisija arvioitiin kahden ja kolmen vuorokauden kuluttua kokeen alkamisesta.

7.1.3 JÄÄVUORISALAATIN VAROIKAKOEKKEET KASVIHUONEESSA

C119-, C199- ja 'Architekt' -sinappeja kasvatettiin kasvihuoneessa ja lannoitettiin samaan tapaan kuin edellisissä kasvihuonekokeissa. Kukkimisen alkuvaiheessa kasvien maanpäällinen biomassa hienonnettiin ja sekoitettiin kasvualustaan siten, että biofumikaatiokasvin osuudeksi tuli 5 % maan kuiva-aineesta (kp/kp). Kasvualustan kosteus säädettiin 60–70% w/w ja se purkittiin 2, 5 litran muoviruukkuihin. Jokaisessa käsittelyssä oli kuusi muoviruukkuja, joihin jäävuorisalaatin taimet ('Brenson') istutettiin 3, 7 ja 14 vuorokauden kuluttua biofumikaatiokasvin hienontamisesta. Kaikkia koejäseninä kasteltiin yhdenmukaisesti ja taimia lannoitettiin Kekkilän kastelulannoitteella (N17-P4-K25). Kolme viikkoa kestäneen kasvatusseurannan jälkeen salaattikerä punnittiin ja sen kuivapaino määritettiin. Juuriston kuntoa arvioitiin silmämääräisesti. Varoikakokeessa tilastollisiin analyyseihin sovellettiin kaksisuuntaista varianssianalyysiä, jonka faktoreina olivat

varoaika ja biofumikaatiokasvi. Parittaisissa vertailuissa käytettiin Tukeyn testiä. Kaikki tilastolliset analyysit tehtiin IBM SPSS 20 ohjelmalla.

7.1.4 BIOFUMIKAATIOTUTKIMUKSEN KENTTÄKOEKKEET ETELÄ-SAVOSSA

Biofumikaation vaikutusta ja biofumikaatiokasvien kasvustusta avomaolosuhteissa tutkittiin kolmessa eri kenttäkokeessa. Kaksi ensimmäistä koetta toteutettiin vuonna 2010 käytännön vihannestilojen lohkoilla, jossa aiemmin oli havaittu runsaasti pahkahometta. Kolmas koe perustettiin vuonna 2011 MTT Mikkelin koekentälle. Vuoden 2010 kokeissa koejärjestelynä oli satunnaistettujen lohkojen koe neljällä toistolla, kun taas vuoden 2011 kokeen koejärjestely oli täydellisesti satunnaisesti ruutujen koe neljällä toistolla. Ensimmäisessä kokeessa vuonna 2010 biofumikaatiokasveina käytettiin C119-, C199- ja 'Architekt' -sinappeja. Toisessa kokeessa vuonna 2010 koejäseninä olivat 'Architekt' keltasinappi, italianraiheinä (*Lolium multiflorum* 'Meroa'), rehuöljyretikka (*Raphanus sativa* 'Adios') sekä aiemmissa kokeissa satoisaksi todettu BioFum Summer -kevätmixiä (Joordens Zaden BV), joka on keltasinapin, etiopiansinapin (*Brassica carinata*) ja öljyretikan seos. Kolmannessa kokeessa biofumikaatiokasveina käytettiin C119-sinappia sekä BioFum Summer -kevätmix seosta sekä italianraiheinää ('Meroa'). Käytetyt siemenmäärät olivat: C119 15 kg/ha, C199 12 kg/ha, 'Architekt' 20 kg/ha, öljyretikka 20 kg/ha ja kevätmix 15 kg/ha. Verranteina kaikissa kokeissa toimi kylvämättömät nolla-ruudut, sekä italianraiheinä jota kylvettiin 30 kg/ha. Ennen kylvöä koealueet lannoitettiin Puutarhan Y2-lannoksella (N6-P5-K20-S12) (600 kg/ha) ja peltokalkkialpietarilla (N15-P5-Ko-So) (300 kg/ha). Kaikissa kokeissa kasvit kylvettiin toukokuun puolivälin jälkeen ennen kesäkuuta. Kasvustojen peittävyyttä, korkeutta ja ristikkukkaisten koejäsenten kehitystasetta havainnoitiin viikoittain.

Kasvustot murskattiin ja muokattiin maahan jyrsimellä 15 cm:n syvyiseen pintakerrokseen siinä vaiheessa kun sinappikasvustojen kukinta oli alkamassa, mikä vuoden 2010 kokeissa tapahtui noin kuuden viikon päästä kylvöstä ja vuoden 2011 kokeessa seitsemän viikon päästä kylvöstä. Heti muokkauksen jälkeen koealueita sadetettiin noin 20 mm. Sadetuksen jälkeen jokaiseen ruutuun haudattiin kaksi noin 4 x 4 cm kokoista kuituverkkopussia, jotka vuoden 2010 kokeissa sisälsivät kukin kymmenen puhdasviljelmänä kasvatettua samankokoista *S. sclerotiorum* -sienen rihmastopahkaa. Vuoden 2011 kokeessa toinen pahkapussi sisälsi kymmenen *S. sclerotiorum* -sienen rihmastopahkaa ja toinen kymmenen *S. subarctica* nom. prov. -sienen rihmastopahkaa. Ennen kasvuston murskausta otettiin koeruuduittain satonäytteet, joista määritettiin kasvien tuore- ja kuiva-ainesato. Murskauksen jälkeen maan kosteutta ja lämpötilaa seurattiin kahden viikon ajan. Biofumikaatiovaikutuksen tehostamiseksi osa vuoden 2011 koeruuduista peitettiin biohajoavalla kalvolla (Bioska, Plastiroll Oy) heti kasvuston muokkauksen ja sadetuksen jälkeen.

Ensimmäiset pahkapussit poistettiin kahden viikon kuluttua ja toiset neljän viikon kuluttua hautaamisesta. Pahkat käsiteltiin kuten aiemmissa kokeissa. Pahkahomeen rihmaston

kasvua ja uusien rihmastopahkojen muodostusta havainnointiin muutaman päivän välein noin kuukauden ajan. Koeruuduille istutettiin jäävuorisalaatti ensimmäisessä vuoden 2010 kokeessa ja vuoden 2011 kokeessa kaksi viikkoa kasvuston murskauksen ja muokkauksen jälkeen ja toisessa vuonna 2010 toteutetussa kokeessa noin 25 vuorokautta murskauksen ja muokkauksen jälkeen. Salaattia lannoitettiin vuoden 2010 kokeissa Puutarhan Y2-lannoitteella (1000 kg/ha) ja vuoden 2011 kokeessa Aito Viljo (N8-P5-K1) ja patenttikali-lannoitteilla siten, että kokonaistypymääräksi tuli 120 kg/ha. Vuoden 2010 ensimmäisessä kokeessa salaattit korjattiin 37 vuorokauden kuluttua istutuksesta ja vuoden 2010 toisessa kokeessa ja vuoden 2011 kokeessa noin 50 vuorokauden kuluttua istutuksesta. Koeruuduilta saatu salaattisato luokiteltiin kauppa-kelpoisuusluokkiin 300–450 g, 450–600 g ja yli 600 g painavat kerät. Kauppakelvottomiin luokiteltiin alle 300 g painavat kerät sekä tautien ja tuholaisten vioittamat tai muuten vialliset salaattit. Biokumikaatiokasvien ja katteen vaikutusta rihmastopahkoihin testattiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä. Parittaisissa vertailuissa käytettiin Tukeyn testiä. Testit tehtiin IBM SPSS 20 ohjelmalla.

7.2 BIOFUMIKAATIOTUTKIMUKSEN TULOKSET

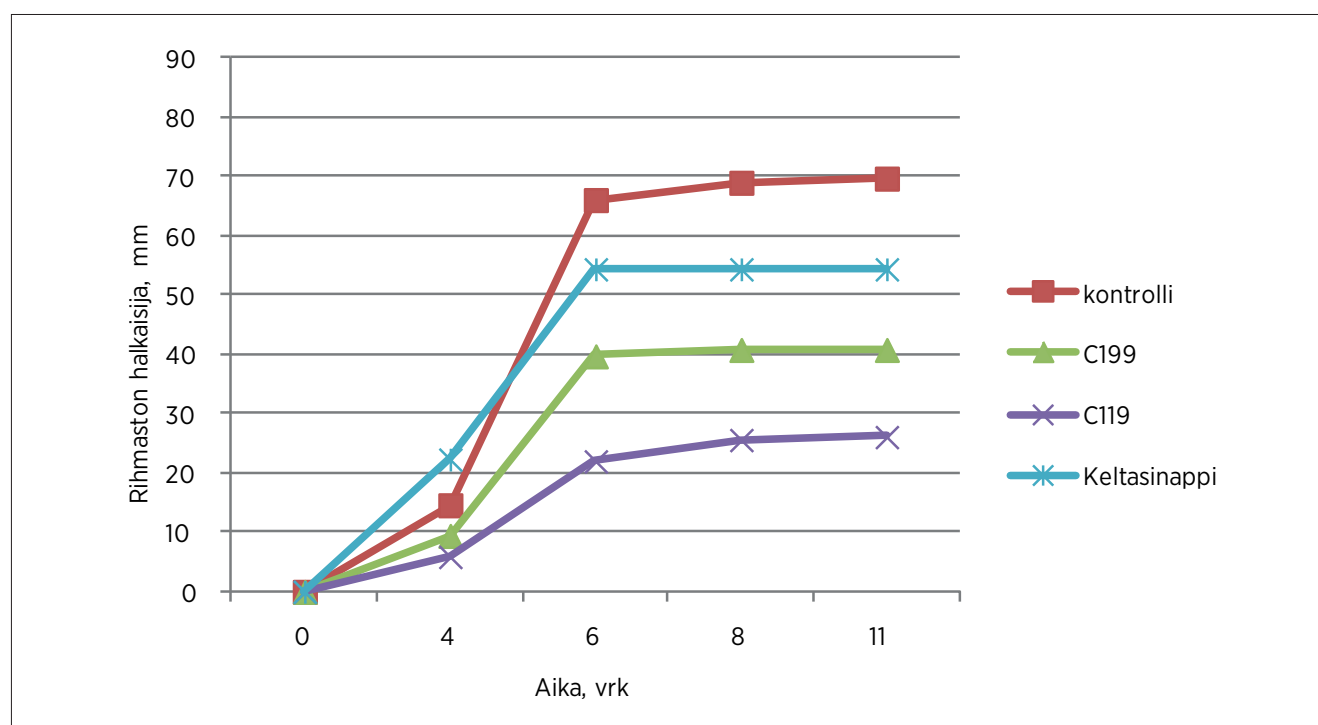
7.2.1 BIOFUMIKAATION VAIKUTUS PAHKAHOMEEN ELINVOIMAISSUUTEEN KASVIHUONEESSA

Tilastollisen tarkastelun perusteella biofumikaatiokasveilla oli kasvihuoneoloissa merkitsevä vaikutus ($p < 0,001$) pahkaho-

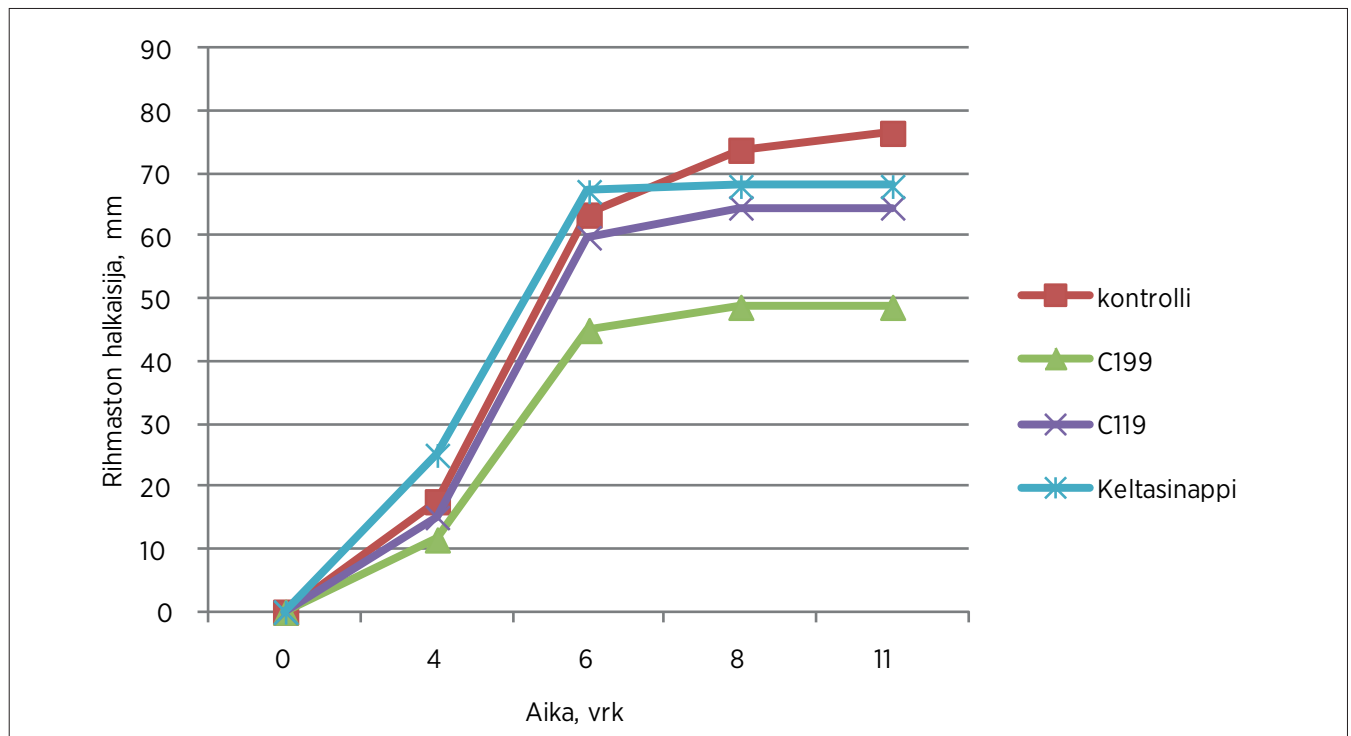
meen sienirihmaston kasvuun. Myös kasvualustaan murskatun kasvuston määrällä ($p < 0,001$) oli merkitsevä vaikutus. Osa pahkahomeen rihmastopahkoista oli biofumikaatiokasvimurskeelle altistuessaan joko täysin hajonnut tai muuten vioittunut. Hajonneita ja vioittuneita pahkoja ei puolestaan havaittu kontrollikäsittelyssä. Ehjien pahkojen kasvuun suurin ehkäisevä vaikutus 5 % kuiva-aine pitoisuudessa oli C119-kasveilla (Kuva 15). Vähiten pahkojen kasvuun 5 % kuiva-aine pitoisuudessa vaikutti keltasinappi 'Architekt'. Biofumikaatiokasvien negatiivinen vaikutus pahkahomeen kasvuun oli nähtävissä myös 1 % kuiva-ainepitoisuudella, mutta pääsääntöisesti vaikutus oli heikompaa kuin 5 % kuiva-ainepitoisuudella (Kuva 17). Koska tulosten perusteella biofumikaatiokasveilla oli kasvihuoneoloissa riittävinä pitoisuuksina selkeästi negatiivista vaikutusta pahkahomeen pahkojen elinvoimaisuuteen, jatkettiin menetelmän tehokkuutta testaamista kenttäolosuhteissa.

7.2.2 BIOFUMIKAATION VAIKUTUS *PSEUDOMONAS CICHORII* -BAKTEERIEN KASVUUN

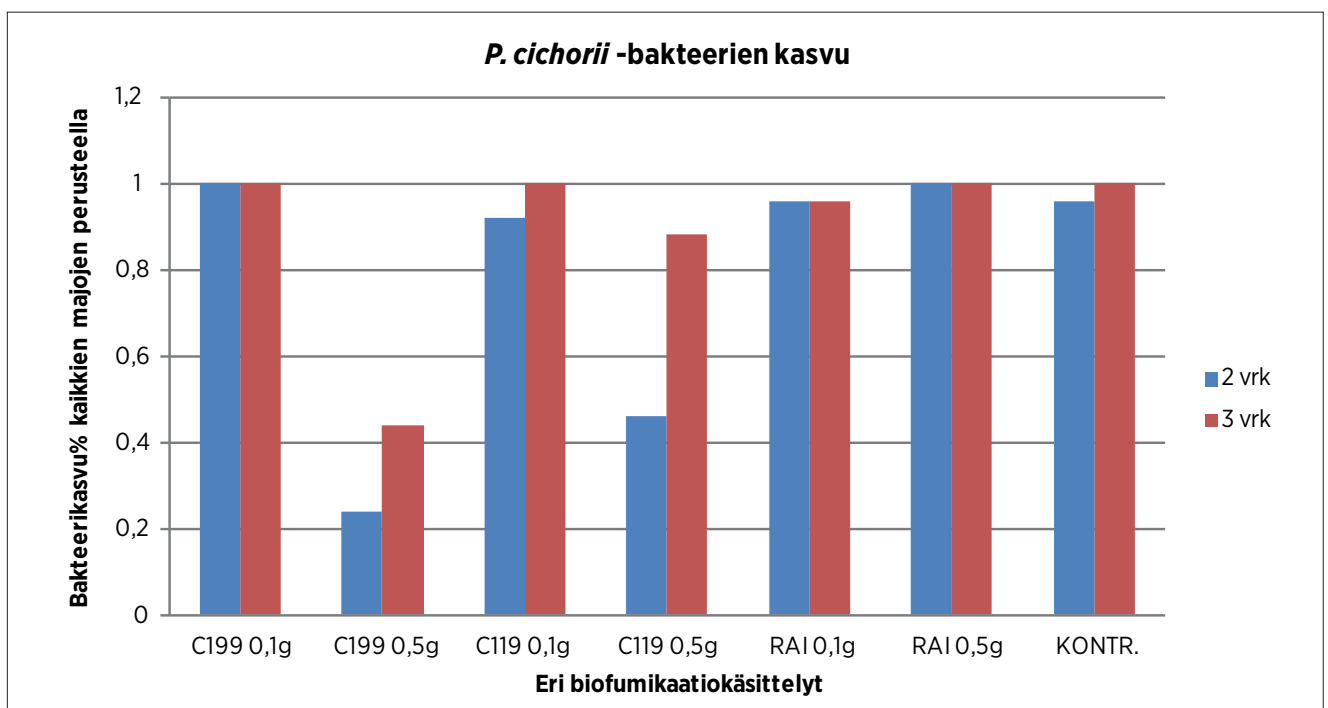
Käsittelyt C199 ja C119 selvästi heikensivät 0,5 g:n pitoisuuksina *P. cichorii*-bakteerien kasvuun lähtöä ja joissain tapauksissa ehkäisivät sen kokonaan (Kuva 17). Vaikutukset olivat nähtävissä muodostuneiden bakteeripesäkkeiden lukumäärissä sekä pesäkkeiden koossa, joka määritettiin mittaamalla pesäkkeiden halkaisija (Kuvat 18 ja 19). RAI-käsittelyt ja C119- ja C199-kasvien 0,1 g:n käsittelyt eivät heikentäneet *P. cichorii*-bakteerien kasvuun lähtöä, eivätkä vaikuttanut muodostuneiden bakteeripesäkkeiden kokoon. Päinvastoin 0,1 g:n C119- ja C199-käsittelyissä sekä molemmissa RAI-käsittelyissä muodostui yleisesti enemmän bakteeripesäkkeitä kuin kontrollissa, mikä viittaa siihen, että pieninä pitoisuuksina kasviaineksella saattaa olla jopa bakteerien kasvua kiihdyttävä vaikutus.



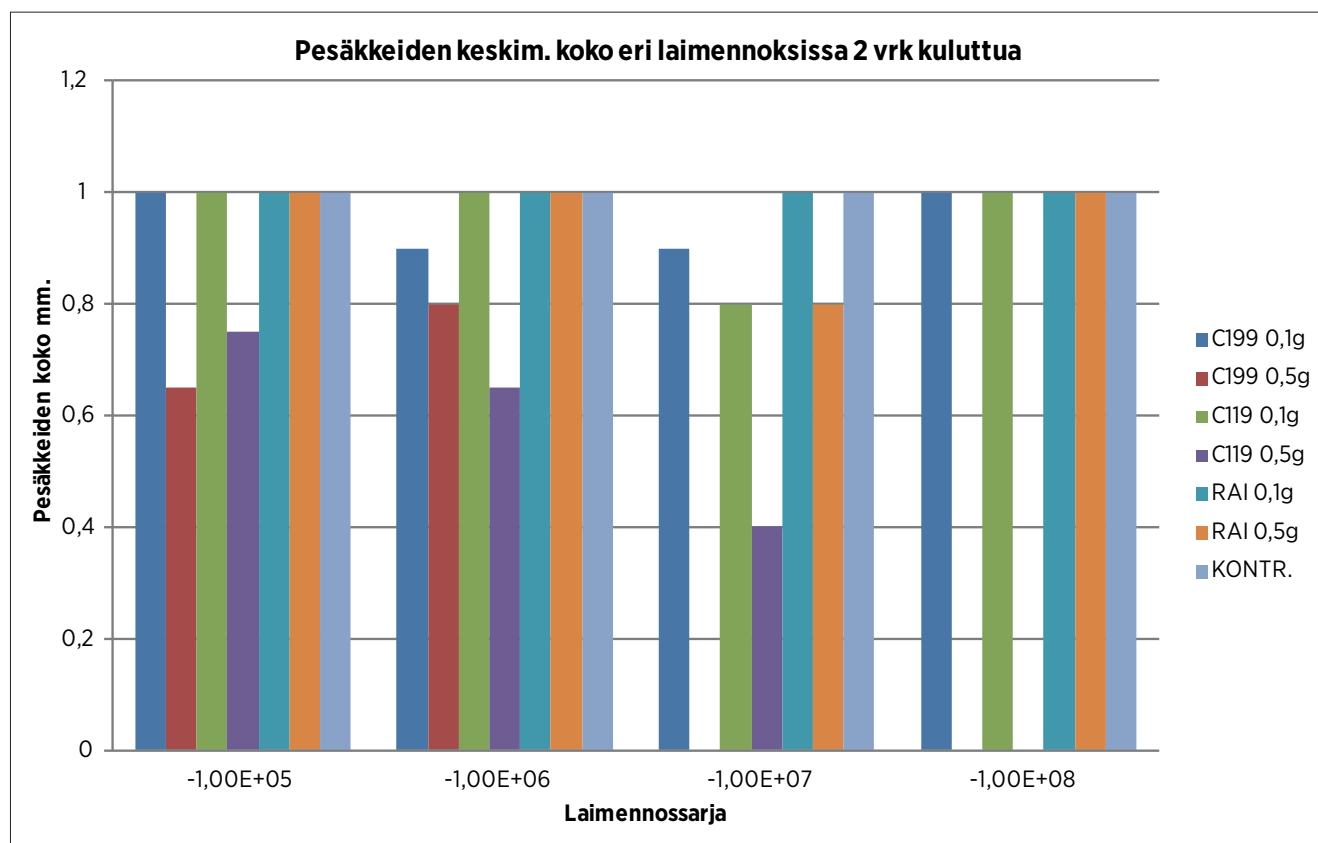
Kuva 15. Pahkahomeen rihmaston kasvu 11 vuorokauden aikana maljalla 4 viikon sinappimurskeelle altistuksen jälkeen 5 % :n käsittelyssä.



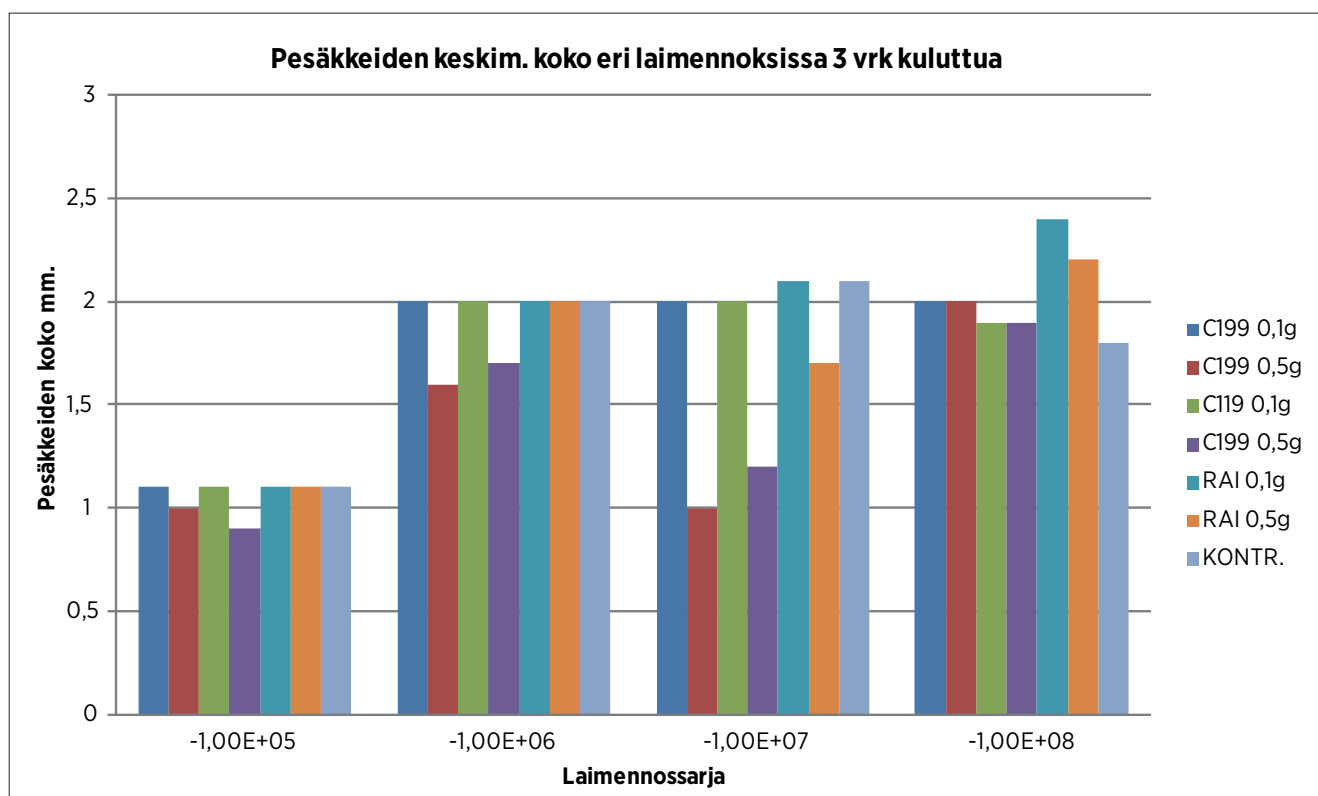
Kuva 16. Pakkahomeen rihmaston kasvu 11 vuorokauden aikana maljalla 4 viikon sinappimurskeelle altistuksen jälkeen 1% :n käsittelyssä.



Kuva 17. *P. cichorii* -bakteerien kasvu eri käsittelyissä. Taulukossa esitetty prosentuaalisesti kuinka monessa maljassa oli havaittavissa *P. cichorii* -bakteerikasvua kahden ja kolmen vuorokauden kuluttua kokeen alkamisesta.



Kuva 18. Bakteripesäkkeiden keskimääräinen koko eri käsittelyiden ja laimennosten suhteen kahden vuorokauden kuluttua kokeen alkamisesta. Yhdessä C199 0,5g käsittelyn 10^{-7} ja 10^{-8} laimennussarjan maljoissa, eikä yhdessä C119 0,5g 10^{-8} laimennussarjan maljoissa ollut havaittavissa bakteerikasvua.

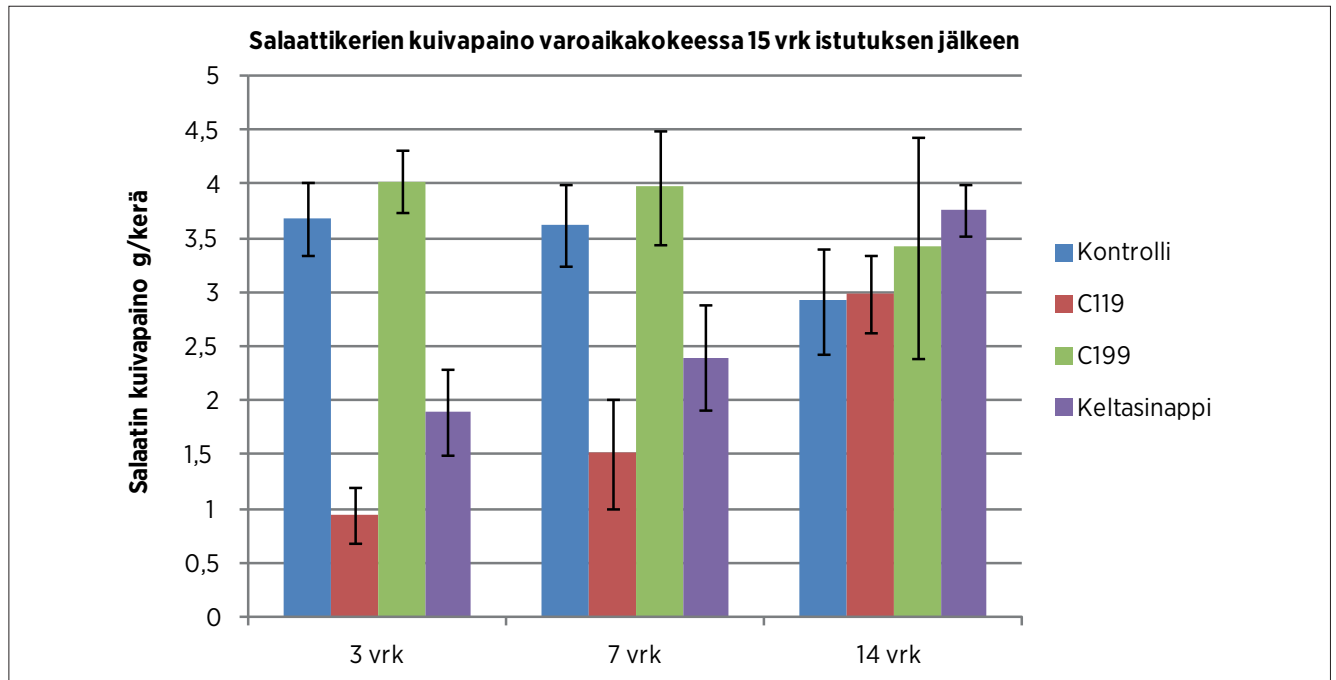


Kuva 19. Bakteripesäkkeiden keskimääräinen koko eri käsittelyiden ja laimennosten suhteen kolmen vuorokauden kuluttua kokeen alkamisesta.

7.2.3 BIOFUMIKAATION VAIKUTUS JÄÄVUORISALAATIN ALKUKEHITYKSEEN

Biofumikaatiokasveilla ($p < 0,001$) ja varoajan pituudella ($p < 0,001$) oli tilastollisesti merkitsevä vaikutus jäävuorisalaatin alkukehitykseen. Myös yhdysvaikutus biofumikaatiokasvin ja varoajan välillä oli merkitsevä ($p < 0,001$). 3–7 vuorokauden varoajan jälkeen istutettaessa C119 ja SA hidastivat merkitse-

västi salaatin kasvua. Tämä näkyi selvästi myös heikkona juuriston kasvuna. C199-kasveilla ei puolestaan ollut vaikutusta taimien alkukehitykseen. (Kuva 20). Koska biofumikaatiokasvien hajotessa muodostuvat kaasut ovat haitallisia myös salaatille, on käsittelyn jälkeen suositeltavaa pitää vähintään 14 vuorokauden varoaikaa.



Kuva 20. Jäävuorisalaattikerien kuivapaino 15 vrk:n kasvatuksen jälkeen. Taimet istutettiin kasvuturvealustaan, johon oli seostettu 3, 7 tai 14 vrk aiemmin C119, C199 tai keltasinapin murskattua biomassaa pitoisuuteen 5 % (kp/kp). Janat ilmaisevat keskihajontaa.

7.2.4 BIOFUMIKAATIOKASVIEN KASVATUS AVOMALLA JA BIOFUMIKAATION VAIKUTUS PAHKAHOMEeseen KÄYTÄNNÖN VILJELYSSÄ – ENSIMMÄINEN KENTTÄKOE VUONNA 2010

Ensimmäisessä vuonna 2010 toteutetussa kenttäkokeessa taimettuminen oli tasaista ja se tapahtui noin viikon kuluessa kylvöstä (Kuva 21). Kasvustoista torjuttiin kirppoja kaksi kertaa (Decis 25EC, 0,2 l/ha ja 200 l vettä/ha, Gardena 874- käsiruisku, paine 3 bar). Ennen kasvustojen murskausta kasvustojen peittävyys oli 85–100%. Kasvuston korkeus murskausvaiheessa oli raiheinällä keskimäärin 48 cm, C199-sinapilla 62 cm, keltasinapilla 76 cm ja C119-sinapilla 80 cm. Eniten maanpäällistä kuiva-ainesatoa tuottivat C119-sinapit (Taulukko 1 ja Kuva 22). Tiheän kasvuston ja runsaan kasvimassan tuotannon ansiosta myös C119-sadon rikkakasvipitoisuus jäi alhaiseksi. C199-sinapin ja keltasinapin kuiva-ainesadontuotto oli samaa suuruusluokkaa. Selkeästi vähiten kuiva-ainesatoa tuotti raiheinä, jolla myös sadon rikkakasvipitoisuus oli suurin. Lämpimien ja sateettomien säiden johdosta maan kosteuspitoisuus laski tasaisesti kaikilla koejäsenillä mittaussajanjakson aikana, kun taas muokkauskerroksen maan lämpötila kohosi kaikilla koejäsenillä mittaussajanjakson aikana (Taulukko 2). Ensimmäisen kokeen pahkahomemaljauksessa kahden viikon maa-altistuksen jälkeen uusia rihmastopahkoja muodos-

tui noin 80 % maljoista kaikissa koejäsenissä. *Fusarium*- ja *Trichoderma*-sienien muodostamaa rihmastoa oli 20 %:lla maljoista. Toisessa maljauksessa neljä viikkoa käsittelystä keltasinappi hidasti pahkahomerihmaston kasvua eniten, mutta millään käsittelyllä ei ollut merkitsevää vaikutusta pahkahomeen elinvoimaisuuteen. Tosin maljoilla joilla käsittelyt eivät estäneet pahkahomeen rihmaston kasvua, uusia pahkoja muodostui vain noin puoleen maljoista.

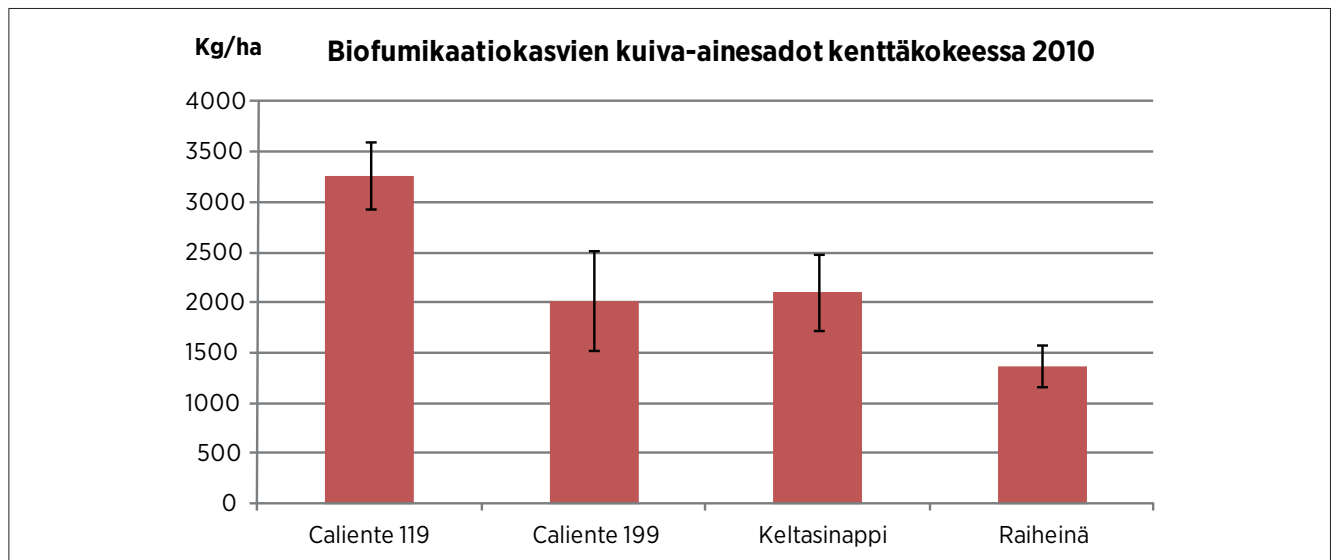
Mikään koejäsenistä ei tuottanut yli 600 g:n painoisia keriä. 450–600 g:n painoisia keriä oli yhteensä koko kokeessa vain kahdeksan kappaletta. Kauppakelpoisista keristä 96,5 % oli kooltaan 300–450 g. Kauppakelpoisten kerien osuus ruutusoissa oli 0–83 %. Kahdesta ruudusta ei saatu lainkaan kauppakelpoisia keriä. Kokeessa esiintyi poikkeuksellisen lämpimän sään johdosta kaikilla koejäsenillä hyvin runsaasti salaatinpiilomättää. Tästä johtuen sadonkorjuuvaiheessa keriä jouduttiin kuorimaan, mikä aiheutti myös paljon alle 300 g:n painoisia keriä ja piti satotasot yleisesti hyvin alhaisena. Pahkahometta tai harmaahometta esiintyi joissakin kerissä, jotka oli korjattu raiheinä-ruuduilta. Tuholaisten vioittamia keriä ei esiintynyt. Satovaihtelut koejäsenten sisällä olivat suuria (Kuva 23.), mutta keskimäärin suurimmat sadot saatiin C119 käsitellyistä ruuduista. Millään biofumikaatiokäsittelyllä ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta satomääriin eikä myöskään pahkahomeen esiintymiseen avomaalla.



Kuva 21. VihTa-hankkeen biofumikaatiokokeen kasvustoa vuonna 2010 kuukausi kylvön jälkeen. Kuvan etureunassa vasemmalla raiheinä, keskellä C119 ja oikealla keltasinappi 'Arhitekt' (Kuva: Pirjo Kivijärvi)

Taulukko 1. Vuonna 2010 ensimmäisessä kenttäkokeessa kylvettyjen kasvustojen maahan muokattu tuore- ja kuiva-ainesadon määrä koejäsenittain.

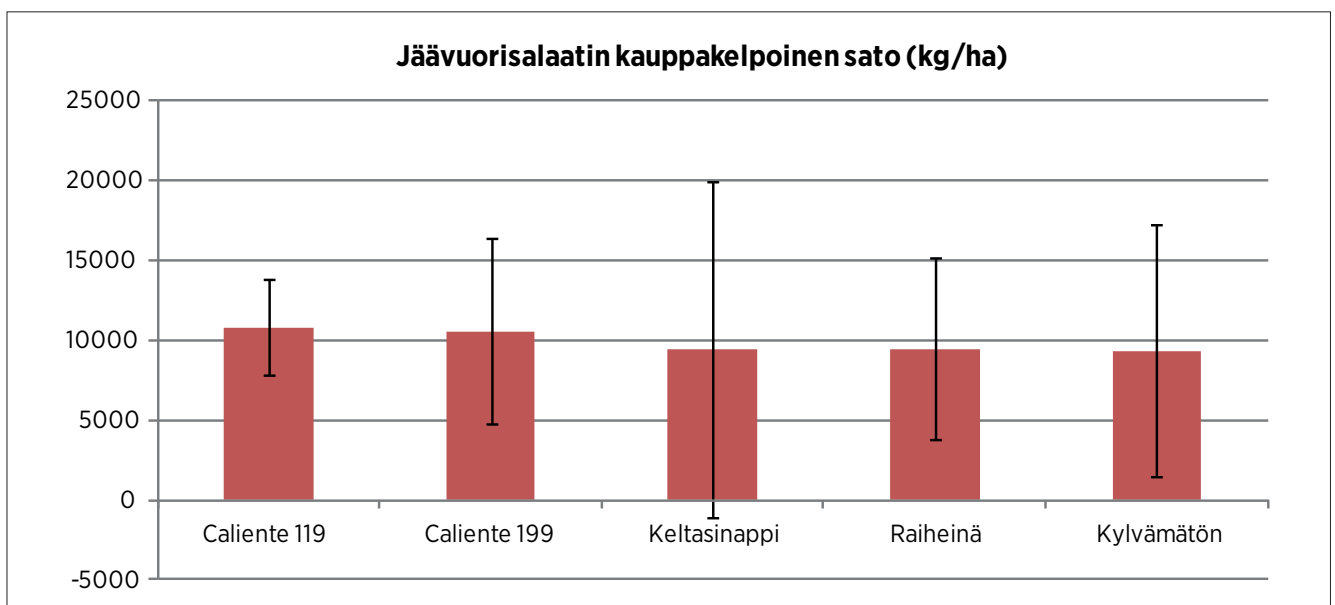
Kerranne	Koejäsen	Koko kasvusto			Kylvetty kasvi		Rikat	
		Tuoresato g/ 0,25 m ²	Ka-%	Ka-sato, kg/ha	Ka-%	Osuus sadosta, %	Ka-%	Osuus sadosta, %
1	Raiheinä	633,2	12,20	1544,50	12,70	84,24	9,53	15,76
1	Caliente 119	1796,9	9,91	3562,77	10,23	89,30	7,28	10,70
1	Keltasinappi	1682,2	10,61	3570,71	12,03	74,20	6,55	25,80
1	Caliente 199	1227,8	9,08	2229,00	9,56	78,40	7,31	21,60
2	Caliente 199	1620,5	8,74	2832,84	9,00	88,30	6,82	11,70
2	Caliente 119	1909,3	9,53	3640,60	9,66	94,50	7,38	5,50
2	Raiheinä	980,9	11,18	2193,61	12,36	74,33	7,77	25,67
2	Keltasinappi	1161,4	9,69	2250,94	10,32	83,04	6,59	16,96
3	Caliente 119	2053,4	9,66	3967,32	9,92	90,76	7,11	9,24
3	Keltasinappi	1259,8	10,61	2673,89	11,61	77,48	7,19	22,52
3	Raiheinä	819,5	11,39	1867,26	13,13	60,64	8,72	39,36
3	Caliente 199	1531,9	9,39	2878,04	9,71	82,86	7,86	17,14
4	Caliente 119	1794,5	8,81	3163,63	8,99	89,65	7,33	10,35
4	Keltasinappi	1192,3	9,86	2350,42	10,34	77,68	8,18	22,32
4	Raiheinä	705,2	12,90	1819,73	13,96	77,64	9,24	22,36
4	Caliente 199	790,2	10,07	1591,98	10,00	91,82	10,92	8,18



Kuva 22. Vuoden 2010 ensimmäisen biofumikaatiokenttäkokeen kylvettyjen kasvustojen keskimääräinen kuiva-ainesadon tuotto, kg/ha sekä keskihajonta.

Havainto pvm.	29.6.	5.7.	9.7.	14.7.
Koejäsen	Muokkauskerroksen kosteus-%			
Raiheinä	19,11	19,05	18,47	16,35
Caliente 199	18,05	18,62	17,12	16,20
Caliente 119	18,25	17,51	18,25	16,48
Keltasinappi	18,43	17,96	17,73	15,70
Kylvämätön	19,54	17,98	16,56	16,25
Koejäsen	Muokkauskerroksen lpt, C-astetta			
Raiheinä	14,3	17,4	20,7	21,5
Caliente 199	14,5	17,2	20,1	21,5
Caliente 119	14,3	17,4	20,7	21,6
Keltasinappi	14,8	17,2	20,4	21,4
Kylvämätön	16,0	17,2	20,3	21,6

Taulukko 2. Vuoden 2010 ensimmäisen biofumikaatiokenttäkokeen maan kosteus-% ja lämpötila -% koejäsenittäin eri mittauskerroilla kasvuston maahan muokkauksen jälkeen.



Kuva 23. Jäävuorisalaatin kauppakelpoinen sato (kg/ha) koejäsenittäin ja sadon keskihajonta vuoden 2010 ensimmäisessä biofumikaatiokenttäkokeessa

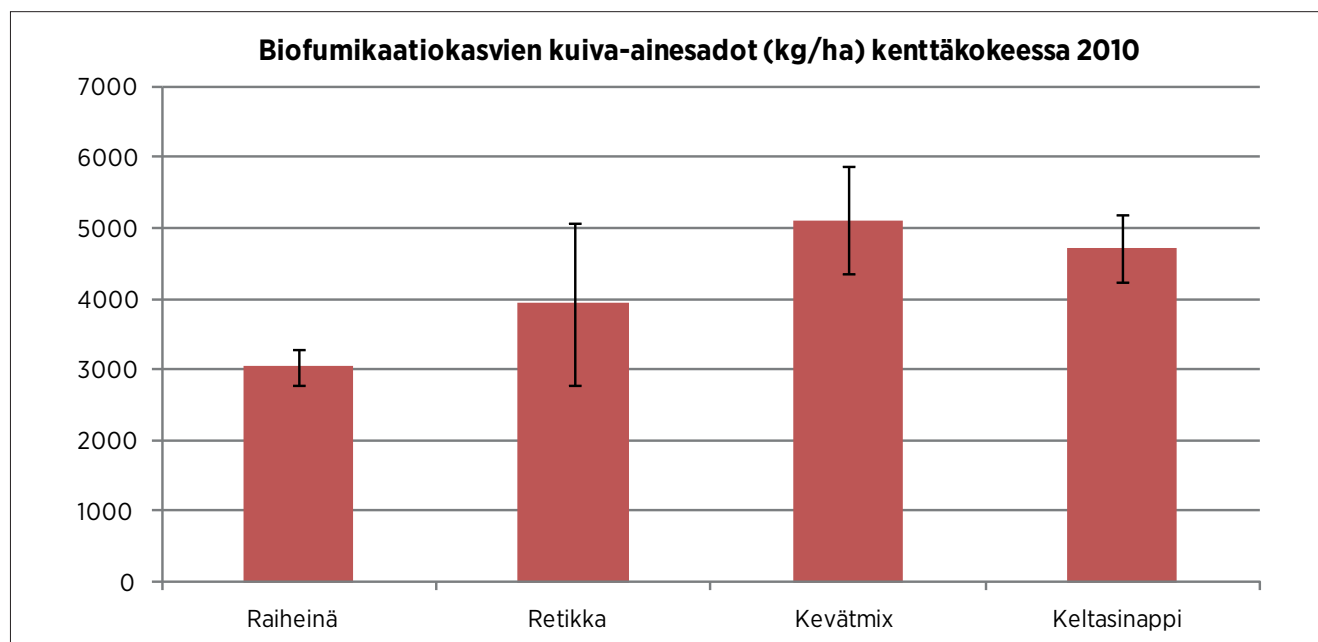
7.2.5 BIOFUMIKAATIOKASVIEN KASVATUS AVOMAALLA JA BIOFUMIKAATION VAIKUTUS PAHKAHOMEeseen KÄYTÄNNÖN VILJELYSSÄ – TOINEN KENTTÄKOE VUONNA 2010

Myös toisessa vuonna 2010 toteutetussa kenttäkokeessa biofumikaatiokasvien taimettuminen tapahtui noin viikon kuluessa kylvöstä. Ennen kasvustojen murskausta kasvustojen peittävyys oli 90–100%. Kasvuston korkeus murskausvaiheessa oli italianraiheinällä keskimäärin 68 cm, rehuöljyretikalla 73 cm, keltasinapilla 150 cm ja kevätmix-seoksessa retikalla 70 cm ja sinapeilla 130 cm. Eniten maanpäällistä kuiva-ainesatota tuottivat kevätmix-kasvit (5114 kg/ha). Ensimmäisen kokeen tapaan selkeästi vähiten kuiva-ainesatota tuotti italianraiheinä, jolla myös sadon rikkakasvipitoisuus oli suurin (Kuva 24 ja Taulukko 3). Muokkauskerroksen maan lämpötila ennen kasvuston muokkausta oli 16°C kaikissa koejäsenissä.

Ensimmäiseen kokeen pahkahomemaljauksessa mikään käsittely ei estänyt rihmastoon kasvua. Tosin ensimmäisen ko-

keen tapaan uusia pahkoja muodostui vain noin puoleen maljoista. Biofumikaatiolla saattaa tulosten perusteella olla vaikutusta uusien pahkahomeen rihmastopahkojen muodostumiseen. Tämä on huomioon otettavaa jatkotutkimusta ajatellen, sillä pahkahomeen patogeenisyys on suoraan yhteydessä rihmastopahkojen muodostumiseen.

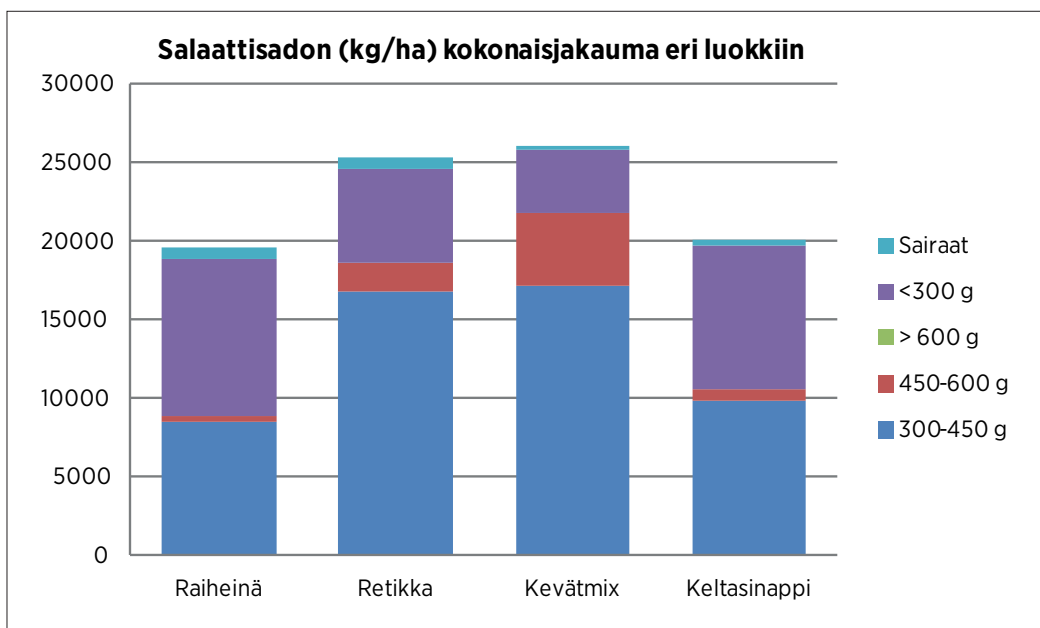
Salaattisato korjattiin syyskuun lopulla, jolloin sää viileni ja salaatin kehitys hidastui. Sato oli pääosin tervettä, mutta osittain keskenkasvuista. Kerien paino oli keskimäärin 350–400 g. Mikään koejäsenistä ei tuottanut yli 600 g:n painoisia keriä. Eniten pieniä keriä oli raiheinä- ja keltasinappi-ruuduissa. Pahkahometta tai harmaahometta esiintyi jonkin verran, vähiten kevätmix-ruuduissa. Millään biofumikaatiokäsittelyllä ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta pahkahomeen tai muiden tautien esiintymiseen. Tuholaisten vioittamia keriä ei esiintynyt. Kauppakelpoinen salaattisato oli suurin kevätmix- ja öljyretikka-ruuduilla, kun taas keltasinappi- ja raiheinä-ruuduilla sato jäi vähäiseksi kerien pienen koon vuoksi (Kuva 25).



Kuva 24. Vuoden 2010 toisen biofumikaatiokenttäkokeen kylvettyjen kasvustojen keskimääräinen kuiva-ainesadon tuotto (kg/ha) sekä keskihajonta.

Taulukko 3. Vuonna 2010 toisessa kenttäkokeessa kylvettyjen kasvustojen maahan muokattu tuore- ja kuiva-ainesadon määrä koejäsenittäin.

Kerranne	Koejäsen	Koko kasvusto			Kylvetty kasvi		Rikat	
		Tuoresato g/0,25 m ²	Ka-%	Ka-sato, kg/ha	Ka-%	Osuus sadosta, %	Ka-%	Osuus sadosta, %
1	Raiheinä	825,8	9,07	2996,88	9,93	73,77	6,67	26,23
2	Raiheinä	761,1	10,91	3321,71	11,75	80,87	7,37	19,13
3	Raiheinä	666,2	10,52	2802,14	10,78	93,17	6,86	6,83
1	Retikka	996,9	7,97	3179,37	7,98	93,00	7,88	7,00
2	Retikka	1124,9	7,51	3379,35	7,57	90,97	6,92	9,03
3	Retikka	1551,5	8,43	5233,99	8,44	99,84	5,50	0,16
1	Kevätmix	1100,0	9,68	4257,02	9,81	96,56	5,79	3,44
2	Kevätmix	1556,4	9,16	5702,26	9,22	98,54	4,76	1,46
3	Kevätmix	1853,8	7,26	5384,61	7,28	99,14	5,16	0,86
1	Keltasinappi	1669,1	6,88	4596,10	6,91	98,81	4,59	1,19
2	Keltasinappi	1306,7	8,27	4324,50	8,28	99,64	5,50	0,36
3	Keltasinappi	1673,1	7,86	5259,47	7,96	96,78	4,75	3,22



Kuva 25. Vuoden 2010 toisen biofumikaatiokenttäkokeen salaattisadon jakautuminen eri koko- ja laatuluokkiin kg/ha.

7.2.6 BIOFUMIKAATIKASVIEN KASVATUS AVOMAALLA JA BIOFUMIKAATION VAIKUTUS PAHKAHOMEeseen KÄYTÄNNÖN VILJELYSSÄ VUONNA 2011

Vuoden 2011 kenttäkokeessa ristikukkaiskasveja vaivasivat kasvun alkuvaiheessa kirpat, jotka lukuisista ruiskutuksista huolimatta aiheuttivat kasvun hiipumista, minkä johdosta kasvien biomassan tuotanto jäi melko alhaiseksi. Eniten maanpäällistä kuiva-ainesatoa tuotti vuoden 2010 kokeen tapaan C119-kasvit. Kokonaiskuiva-ainesato C119-kasveilla oli 1 875 kg/ha, kevätmix-kasveilla 1 639 kg/ha ja raiheinällä 1009 kg/ha. Rikkakasvien osuus vaihteli suuresti koerutujen välillä. Enimmillään se oli 69 % ja alimmillaan 13 %. Biohajoavan

katteen vaikutus maan kosteuteen ja lämpötilaan oli vähäinen. Katteen alla maa oli yleisesti vajaana prosenttiyksikön kosteampaa kuin paljas maa, ja maan lämpötila oli noin yhden asteen lämpimämpi paljaaseen maahan verrattuna (Taulukko 4.).

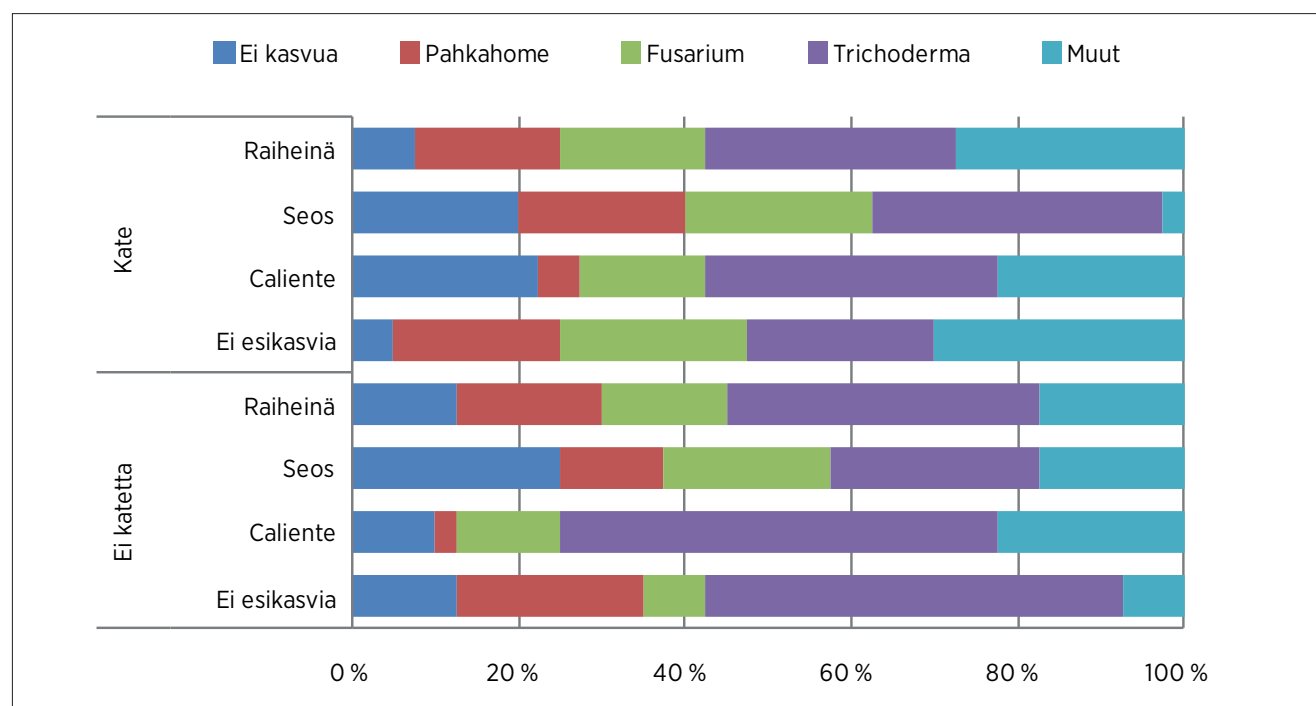
Pahkahomeen elinvoimaisuudessa oli maljauskokeessa nähtävissä heikentymistä C119-käsittelyssä (Kuva 26). Tilastollisesti ero ei kuitenkaan muihin käsittelyihin verrattuna ollut merkittävä. Merkittäviä eroja ei myöskään ollut havaittavissa niiden pahkojen määrissä, jotka eivät kasvaneet maljalla. Vuoden 2010 kokeen tapaan pahkat olivat useasti kontaminoituneet *Fusarium- Trichoderma* ja *Mucor*-sienillä. Katteella ei myöskään havaittu merkittävää vaikutusta pahkahomeen elinvoimaisuuteen. Biofumikaatiokäsittelyllä ja katteella ei ollut vaikutusta muidenkaan sienien esiintymiseen.

Biofumikaatiokäsittelyllä ei myöskään ollut vaikutusta salaattinsatoon eikä laatuviallisten määrään (Kuva 27). Käsittelyn vaikutusta pahkahomeen esiintymiseen avomaalla ei voitu arvioida, koska pahkahometta ei poikkeuksellisen lämpimän kauden johdosta esiintynyt kokeessa lainkaan. Ainoa kokeessa havaittu kasvitauti oli salaatinpilomätä, jonka esiintymiseen

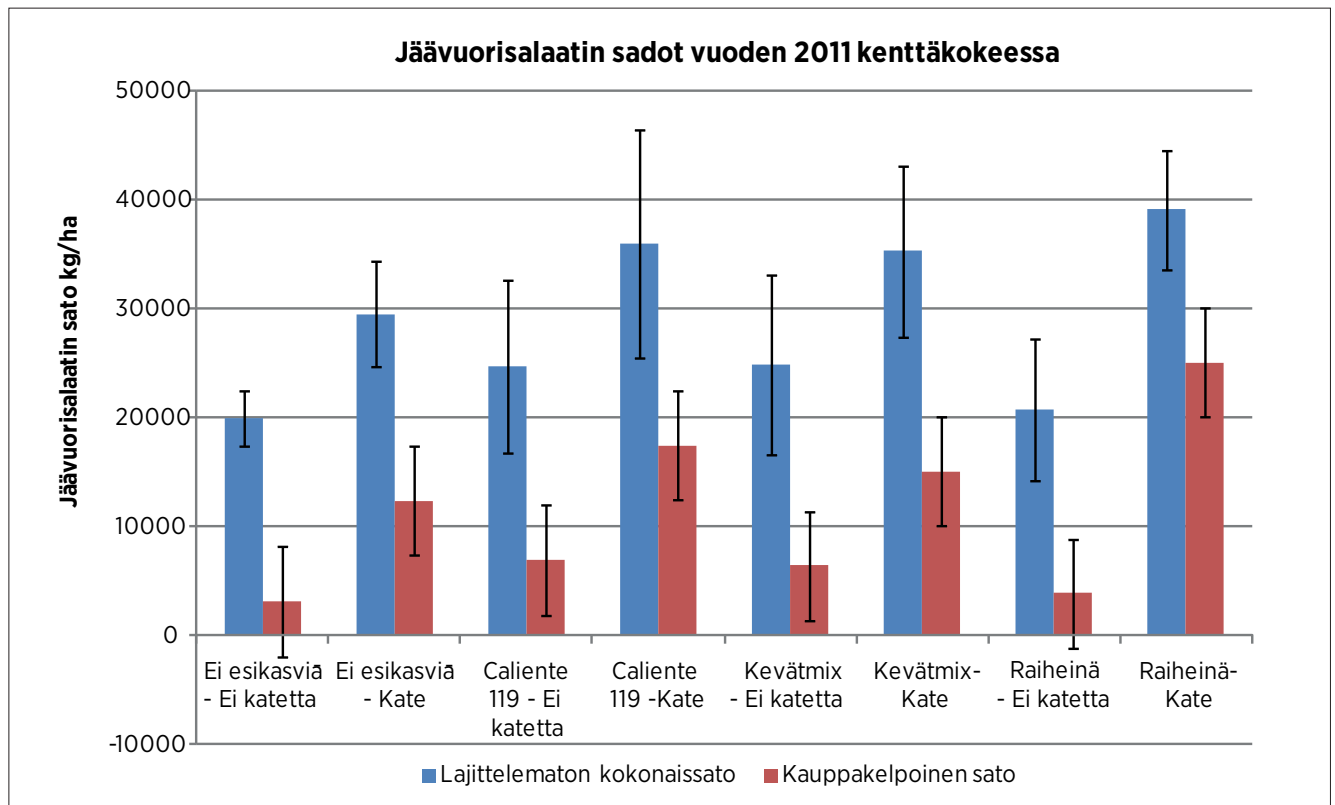
biofumikaatiokäsittelyllä ei ollut tilastollisesti merkitystä. Biohajoavan katteen käyttö lisäsi merkitsevästi kauppakelpoisen sadon määrää ($p<0,001$) ja vähensi pienten alle 300 g painavien kerien määrää ($p<0,001$). Katteella ei ollut vaikutusta laatuviallisten salaattien määrään, mutta bakteeritaudista kärsivien kerien määrä oli suurempi ($p=0,079$).

Taulukko 4. Maan kosteus- ja lämpötilatiedot vuonna 2011 toteutetussa biofumikaatiokokeessa. Mittaukset 4.7.11 on suoritettu ennen kasvuston murskausta ja sadetusta. Mittaukset 5.7.11 on suoritettu heti murskauksen ja sadetuksen jälkeen.

Havainto pvm.	4.7.	5.7.	11.7.	18.7.
Koejäsen	Muokkauskerroksen kosteus-%			
Raiheinä, ei katetta	16,3	22,7	17,6	20,0
Raiheinä, kate	16,3	22,7	19,2	19,3
Caliente 119, ei katetta	15,7	22,4	17,9	19,2
Caliente 119, kate	15,7	22,4	18,4	20,0
Kevätmix, ei katetta	15,5	24,3	16,5	19,5
Kevätmix, kate	15,5	24,3	19,3	21,9
Kylvämätön, ei katetta	16,3	25,5	19,0	19,7
Kylvämätön, kate	16,3	25,5	20,2	20,8
Koejäsen	Muokkauskerroksen lpt, C-astetta			
Raiheinä, ei katetta	17,1	-	20,3	17,4
Raiheinä, kate	17,1	-	21,6	18,3
Caliente 119, ei katetta	16,6	-	20,3	17,3
Caliente 119, kate	16,6	-	21,8	18,3
Kevätmix, ei katetta	16,4	-	20,2	17,3
Kevätmix, kate	16,4	-	21,7	18,2
Kylvämätön, ei katetta	18,4	-	20,7	17,3
Kylvämätön, kate	18,4	-	21,7	18,4



Kuva 26. Maljojen osuus, joilla pahkahomeen rihmastopahkasta lähti maljalla kasvamaan uusia pahkoja synnyttävää pahkahomeen rihmasto, *Fusariumin*, *Trichoderman* tai muiden sienten rihmasto. Ei kasvia tarkoittaa maljoja, joissa pahkoista ei lähtenyt kasvamaan mitään.



Kuva 27. Vuoden 2011 kenttäkokeen eri käsittelyistä saadut jäävuorisalaatin kokonaissadot luokiteltuna eri satoluokkiin.

7.3 BIOFUMIKAATIOTULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Biofumikaation tehoon vaikuttavat useat tekijät, kuten kasvin glukosinolaattipitoisuus, glukosinolaateista muodostuvien kaasujen kemiallinen koostumus, peltoon muokattavan kasvimaan määrä, maan rakenne, kosteus ja lämpötila sekä se kuinka hyvin ja nopeasti kasvimaassa saadaan murskattua ja sekoitettua maahan. VihTa-hankkeen kasvihuone- ja laboratoriokokeissa biofumikaatiokasveilla havaittiin olevan merkittävä vaikutus pahkahometta aiheuttavan *S. sclerotiorum*-sienen ja salaatinpiilomättä aiheuttavan *P. cichorii*-bakteerin kasvuun. Kenttäkokeissa samankaltaista vaikutusta ei kuitenkaan pystytty osoittamaan. Todennäköisesti merkittävin syy tehovaikutuksen puuttumiseen kenttäkokeissa johtuu siitä, ettei kokeissa saatu kasvatettua tarpeeksi biofumikaatiokasvin biomassaa, eikä biomassaa kentällä pystytty murskaamaan tarpeeksi hienojakoiseksi. Ohjearvoksi tavoiteltavalle biomassan saannolle yleisesti riittävän biofumikaatiovaikutuksen saavuttamiseksi on kansainvälisten tutkimusten perusteella asetettu 5–6 kg tuoremassaa neliömetrin alalle 20 cm:n syvyyteen maan pintakerrokseen muokattuna (Kirkegaard 2009). VihTa-hankkeen kenttäkokeissa tuoremassan saanto oli suurimman biomassan tuottavilla C119-kasveillakin vain 2,3–3,8 kg m⁻² koevuodesta ja peltolohkosta riippuen. Astiakokeissa vastaava tuoremassa oli 5 % kuiva-aine pitoisuudessa noin 3 kg m⁻², mikä riitti tehovaikutuksen aikaansaamiseksi sinappi-biomassan tehokkaan sauvasekoittimella toteutetun hienon-

nuksen jälkeen. Kenttäkokeissa kasvuston jyrsiminen maahan kahdella ajokerralla jätti osan kasvustosta silppuamatta. Lisäksi murskauksen jälkeiset kuivat säät todennäköisesti hidastivat massan hajoamista maassa, vaikka lämpöä oli todennäköisesti riittävästi. Käytännön kannalta on tärkeää huomioda, että liian heikolla biofumikaatiokäsittelyllä voi olla pahkahomeen osalta jopa taudin esiintymistä lisäävää vaikutusta (Sexton ym. 2007), varsinkin jos ristikkukaskasvuston murskausta ei tehdä riittävän varhain kukinnan ollessa käynnissä. Biofumikaation vaikutus voi olla myös niin lyhytaikainen, että käsittelyllä ei pystytä hillitsemään kasvitauteja, mikäli olosuhteet muutoin suosivat niitä (Pung ym. 2004).

Pahkahomeen muodostamat rihmastopahkat ovat moniin muihin patogeenien säilymisrakenteisiin verrattuna hyvin kestäviä ja vain harvoilla biofumikaatiokasveilla on osoitettu olevan tehovaikutusta niihin (Smolinska & Horbowicz 1999). Pung ym. (2004) kuitenkin osoittivat, että paljon juuriston kautta isotiosyanaatteja tuottava biofumikaatioon jalostettu rehurapsi (BQ-Mulch) on tehokas erityisesti *S. minor*-sienen torjunnassa. Manicin ym. (1997) mukaan erityisesti rikkiä sivuketjussaan omaavilla isotiosyanaateilla olisi puolestaan paras tehovaikutus pahkahomeeseen. Smolinska & Horbowicz (1999) osoittivat vain allyyli-isotiosyanaateilla, kuten sinigriinin hajoamistuotteilla olevan *S. sclerotiorum*-sienen rihmastopahkoja heikentävää vaikutusta.

Etelä-Savossa toteutetuissa kenttäkokeissa pintasteriloiduista pahkoista lähti kasvamaan runsaasti *Fusarium*-, *Trichoderma*- ja *Mucor*-sienten rihmastoja, mikä viittaa näiden sienien mahdolliseen antagonistivaikutukseen (Zazzeri & Tosi 1985, Galletti ym. 2008). Kenttäkokeissa eniten muita

sieniä kasvoi C119-käsittelyistä pahkoista. Biofumikaatiossa kaasuuntuvien yhdisteiden teho vaikutus yhdistettynä lisääntyneeseen orgaanisen aineksen määrään maassa vaikuttaa mikrobiston runsaussuhteisiin ja lisää lajien välistä kilpailua, mikä mahdollisesti näkyi C119-käsittelyissä *Trichoderma*- ja *Fusarium*-sienten lisääntymisenä. Vaikka katteen ei huomattu Etelä-Savon kenttäkokeissa tehostavan biofumikaatiovaikutusta, nosti sen käyttö peltomaan lämpötilaa, mikä niin ikään kiihdyttää maan mikrobiaktiivisuutta ja lisää patogeenien ja muiden mikrobien välistä kilpailua. Katteen on aiemmin huomattu vähentävän salaatilla *S. minor*-sienen aiheuttamaa pahkahometta (Hawthorne 1975), sillä se estää kontaktin uloimpien salaatinlehtien ja peltomaan pahkahomepopulaation välillä. Mahdollisesti kate ehkäisee *S. sclerotiorum* ja *S. subarctica* nom. prov. -sienten aiheuttamia kasvinsuojeluongelmia, sillä se estää näiden sienten leviämistä koteloituiden avulla. Lisäksi kate ehkäisee rikkakasvien esiintymistä, mikä muuttaa myös viljelykasvin mikroilmastoa tauteja kestävämpään suuntaan.

VihTa-hankkeen laboratoriokokeissa havaittiin biofumikaation selvästi heikentävän *P. cichorii* -bakteerin kasvua. Kenttäkokeissa piilomätätautia esiintyi salaatilla kuitenkin hyvin runsaasti biofumikaatiokäsittelyistä huolimatta. Tämä saattaa selittyä bakteerien nopealla reaktiolla muuttuviin oloihin. Biofumikaation lyhytaikaisen vaikutuksen jälkeen heikentynyt bakteeripopulaatio palautuu olosuhteiden muuttuessa hyvin nopeasti ennalleen. Aiemmin biofumikaation on

kuitenkin todettu heikentävän *Streptomyces*- ja *Ralstonia*-bakteerien aiheuttamia kasvitauteja (Kirkegaard 2009), joten mahdollisesti biofumikaation hyödyntämistä Etelä-Savossa maalevintäisen *P. cichorii* -bakteerin torjumiseksi kannattaisi jatkossa tutkia lisää.

Biofumikaatioon jalostetuilla ristikukkaikasveilla havaittiin Suomen ilmasto-oloissa suuria eroja biomassan tuotossa. Jatkossa olisi tärkeää saada useammalta vuodelta kokemuksia eri lajien biomassan tuottokyvystä pelto-oloissa. Keskeisellä sijalla on myös teknisten ratkaisujen löytäminen biomassan murskauksen tehostamiseksi. Biofumikaation hyödyt kasvin-suojeluongelmien kustannustehokkaina hallintakeinoina korostuvat mahdollisesti vasta pitkällä aikavälillä ja yhdistettynä muihin torjuntamenetelmiin, kuten hyvään viljelyhygieniaan ja kestävien lajikkeiden käyttöön. Viljelykierron kasvitauteja hallitsevaa vaikutusta voidaan myös todennäköisesti tehostaa sisällyttämällä kiertoon biofumikaatiokasveja. Hao ym. (2003) huomasivat että viljelykierto, jossa vuorottelevat jäävuori-salaatti ja parsakaali, vähentää salaatilla esiintyvää *S. minor*-sienen aiheuttamaa pahkahometta. Vaikutus perustuu tutkijoiden mukaan esisijaisesti parsakaalin satojätteiden biofumikaatio-ominaisuuksiin. Luonnonmukaisen kasvintuotannon lisääntymisen myötä tarvitsemme uusia keinoja maalevintäisten kasvitautien torjuntaan, minkä vuoksi biofumikaatiokasvien käytön tutkimusta avomaavihannesten viljelykierrossa kannattaa ehdottomasti jatkaa (Iivonen ym. 2010, Iivonen ym. 2011, Iivonen ym. 2012).

8 KERÄÄJÄKASVIT RAVINNE- HUUHTOUTUMIEN VÄHENTÄJINÄ

Ravinteiden huuhtoutuminen pellolta aiheuttaa ympäristöriskejä ja lisää lannoituksen tarvetta, mistä syntyy viljelijälle lisäkustannuksia. Kasvipeitteettömänä aikana pellosta huuhtoutuu ravinteita erityisesti sadevesien pintavaluntana sekä eroosion myötä. Kerääjäkasvit sitovat pellosta mineralisaation seurauksena vapautuvia ravinteita aikoina, jolloin maa muuten olisi kasvipeitteetön. Kerääjäkasveja käytetään Keski-Euroopassa ja yhä enenevässä määrin myös Tanskassa ja Ruotsissa ravinteiden huuhtoutumisen estämiseen pellolta vesistöön. Ravinteiden sitoutuminen kerääjäkasveihin ehkäisee tehokkaasti erityisesti typen huuhtoutumista. Lisäksi kerääjäkasvit sitovat maata ja parantavat maan rakennetta, mikä estää maan eroosiota ja siten vähentää myös fosforin huuhtoutumista. Kerääjäkasvit myös lisäävät maan orgaanisen aineksen määrää, estävät rikkakasvien kasvua ja monipuolistavat muuten yksipuolista viljelyä, mikä osaltaan saattaa vähentää myös kasvi-tauteja ja hyönteistuhoja.

Vihannesviljelyssä kerääjäkasvien käyttö olisi tarpeen erityisesti varhaisvihannesten ja salaattien jälkeen, jolloin maa on syksyllä pitkään kasvipeitteetön ja siihen jää suuria määriä sadonkorjuujätteitä. Ravinteiden huuhtoutumista voidaan vähentää käyttämällä sopivia ravinteiden kerääjäkasveja vihannesten jälkeen. Suomessa kerääjäkasvien käyttöä on kuitenkin rajoittanut lyhyt kasvukausi, eikä kotimaista tutkimustietoa soveltuvista kerääjäkasveista ja niiden hyödyistä vihannesviljelyssä ole olemassa. Vihannestiloille soveltuvia kerääjäkasviteknikoita tutkimalla voidaan ravinteiden hyväksikäyttöä astetta kuitenkin parantaa, kun osa ravinteista saadaan kerääjäkasvien avulla talteen seuraavalle kasvukaudelle.

Biofumikaatiossa hyödynnettävät ristikukkaiskasvit voivat toimia viljelyssä myös kerääjäkasveina ja siten ehkäistä ravinteiden huuhtoutumista maasta. Biofumikaatiossa hyödynnettäviä ja samalla tehokkaita kerääjäkasveja ovat muun muassa keltasinappi, öljyretikka, rypsi ja rapsi. Tyypillisesti kerääjäkasvit kylvetään varsinaisen satokasvin jälkeen, jolloin ne ottavat maasta ja satojätteistä hajotuksen tuloksena vapautuvia ravinteita myöhään syksyyn. Syysmuotoiset lajikkeet jatkavat kasvuaan seuraavana vuonna, minkä jälkeen niistä voidaan korjata satoa tai ne voidaan muokata maahan viherlannoitteeksi. Raiheinää voidaan kylvää viljojen aluskasviksi ja kevätilvoja aikaisin rikottavan nurmen tai avokesannon jälkeen. Viljojen syysmuotoisia lajikkeita voidaan puolestaan kylvää pellolle loppukesästä varhaisvihannesten sadonkorjuun jälkeen. Vilja- ja ristikukkaiset öljykasvit eivät kuitenkaan tavallisesti kuulu

vihannestilan viljelykasvivalikoimaan, joten viljelijöillä ei ole osaamista ja koneita niiden käyttöön.

Vihannestuotannon optimaalisesta lannoituksesta, lannoitteiden huuhtoutumisesta kasvien ulottumattomiin ja huuhtoutumisen aiheuttamasta ravinnekuormituksesta on vähän tutkimustietoa Suomessa. Vihannestuotannon kehittäminen -hankkeessa (VIKKE-hanke) Etelä-Savossa on otettu yksittäisiä näytteitä myöhemmissä 2008 maan nitraattipitoisuuksien selvittämiseksi jäävuorikeräsalatista ja kiinankaalin jälkeen. Pohjamaanäytteissä (30–60 cm) on nitraattipitoisuuksien vaihtelua 50–80 kg/ha välillä, joten kerääjäkasvien käytöllä voisi olla vaikutusta typen huuhtoutumiseen kasvukerroksesta pohjakerrokseen ja edelleen pinta- ja pohjavesiin. Mikäli kerääjäkasvien käytöllä voidaan pienentää typpilannoitustarvetta esimerkiksi 20–30 kg/hehtaarille, kaalikasvien jälkeen jopa enemmän, säästää se seuraavan vuoden lannoituskustannuksia tuntuvasti. VihTa-hankkeessa tavoitteena oli selvittää kerääjäkasvien mahdollisuudet vähentää typen huuhtoutumisriskiä avomaan vihannesviljelyssä. Tutkimus toteutettiin eteläsavolaisilla vihannestiloilla kaksivuotisia kenttä- ja havaintokokeina

8.1 KERÄÄJÄKASVIKOEIDEN TOTEUTUS JA TULOKSET

Ensimmäinen kerääjäkasvikoe perustettiin vuonna 2009 elokuun lopussa eteläsavolaisen vihannesviljelijän jäävuorisalaattia kasvaneelle pellolle, jossa arvioitiin pähkähomesaastunnan olleen noin 20 %. Kerääjäkasveina kokeessa testattiin kevätevehnää, keltasinappia ('Architekt'), rehuöljyretikkaa ('Adios') sekä BioFum Autumn –biofumikaatikasviseosta (syysmix) (Joordens Zaden BV), joka sisältää rapsia (*Brassica napus*), etiopiansinappia ja öljyretikkaa. Lisäksi kokeessa kontrollina toimivat kasvipeitteettömät ruodut. Käytetyt siemenmäärät olivat: kevätevehnä 180 kg/ha, BioFum Autumn 20 kg/ha, keltasinappi 20 kg/ha ja öljyretikka 10 kg/ha. Kasvustojen taimettumista ja kehitystä seurattiin viikoittain ja liukoisen typen maanäytteitä otettiin muokkauserroksesta kahden viikon välein. Elokuussa ja lokakuussa maanäytteet otettiin myös muokkauserroksen alapuolisesta kerroksesta.

Lokakuun alussa tehdyissä havainnoissa vehnäkasvusto oli noin 30 cm korkeaa ja kasvuston peittävyys oli 60 %. Ris-

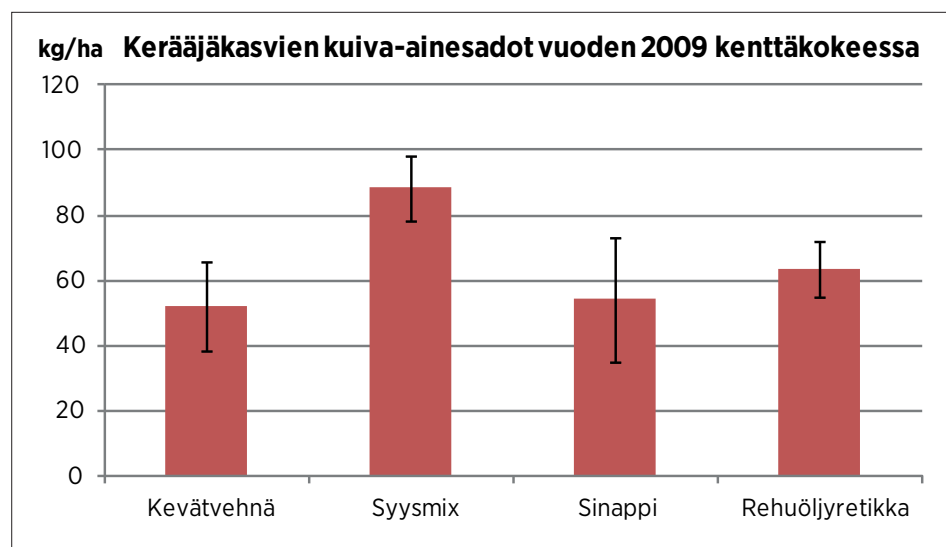
tikukkaisten kasvien kasvustokorkeus oli keskimäärin 17 cm ja peittävyys 30 %. Kerääjäkasvien kylvöajankohta oli myöhäinen, joten maanpäällinen kuiva-ainesato jäi erittäin vaatimattomaksi (Kuva 28.). Koealueelta otettujen maanäytteiden perusteella kokeen alussa nitraattityypen määrä 0–25 cm:n ja 25–60 cm:n maakerroksissa oli varsin korkea (Kuva 29.). Lokakuussa otetuissa maanäytteissä nitraattityyppiä ei löytynyt 0–25 cm:n maakerroksesta minkään koejäsenen alueella ja syvemmässä maakerroksissa nitraattityyppiä esiintyi vähäisiä määriä (7–10,5 kg/ha) kylvämättömällä alueella, sekä keltasinapin ja öljyretikan koealueilla.

Kesällä vuonna 2010 samalle vihannestilalle perustettiin uusi kerääjäkasvikoe lohkolle, josta keväällä istutettu jäävuorisalaattisato oli jo korjattu. Kerääjäkasveina kokeessa testattiin syysrypsiä, syysrapsia, BioFum Autumn -seosta (syysmix) sekä kauraa. Lisäksi kokeessa kontrollina toimivat kasvipeitteettömät ruudut. Käytetyt siemenmäärät olivat syysrypsi 8 kg/ha, syysrapsi 8 kg/ha, syysmix 20 kg/ha ja kaura 180 kg/ha. Kerääjäkasvit kylvettiin vierekkäin 6 x 50 m kokoiselle kaistalle. Ristikukkaiset kasvustot kylvettiin hajakylvönä pintaan ja ajettiin kylvön jälkeen 15–20 cm korkeisiin harjuihin talvehtimisen varmistamiseksi (Kuva 30). Muokkauskerroksesta (0–25 cm) ja pohjamaasta (25–50 cm) otettiin maanäytteet ennen kylvöä. Kasvustojen taimettumista ja kehitystä seurattiin viikoittain ja liukaisen typen maanäytteitä otettiin muokkauskerroksesta kahden viikon välein kasvukauden loppuun saakka. Kasvusto-

jen talvehtimisen ennustamiseksi otettiin kasvukauden lopussa ristikukkaisista kasveista juuristonäytteet, joista mitattiin juurten pituus ja paksuus. Kasvustoista otettiin kasvukauden lopussa myös satonäytteet näytealoittain sekä maanäytteet muokkauskerroksesta ja pohjamaasta. Koe suoritettiin havaintokokeena, joten se ei mahdollistanut tilastollista tarkastelua.

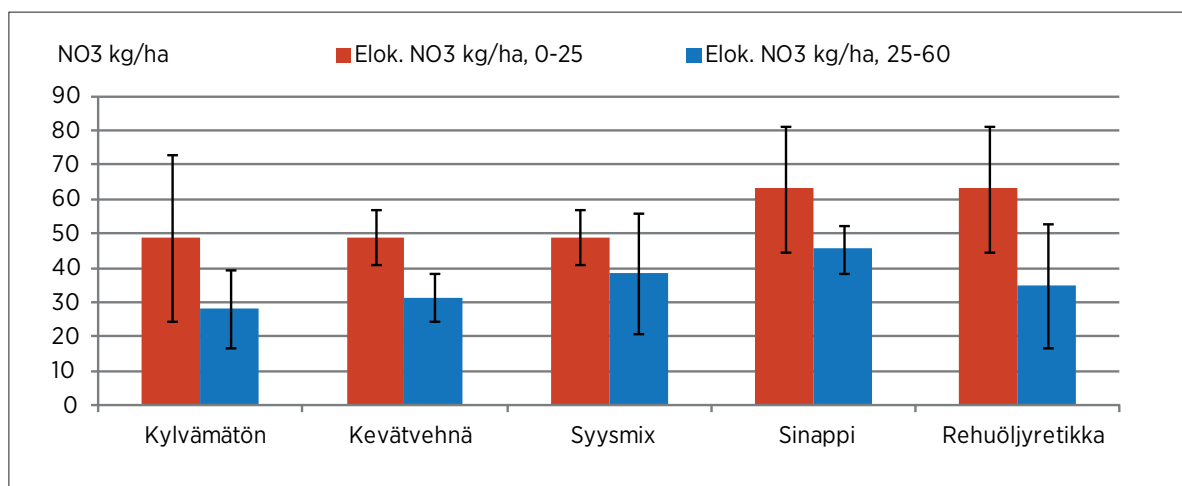
Vuoden 2010 kokeessa syysrypsin, syysrapsin ja syysmixin kasvustot taimettuivat tasaisesti ja peittivät tehokkaasti kasvualustan, mikä selvästi vähensi rikkakasvien esiintymistä näillä koeruuduilla. Kauraruuduilla jauhosavikkaa esiintyi hyvin runsaasti, mikä hidasti kauran kasvua. Kauraa lukuun ottamatta kaikki kerääjäkasvit tuottivat runsaan kuiva-ainesadon (Kuva 31.). Ristikukkaisen kasvustojen juurten keskimääräinen paksuus oli yli 8 mm ja juurten pituus keskimäärin yli 16 cm (Kuvat 32). Talvehtimisen onnistumiseksi juuren tulisi olla vähintään 6–8 mm paksuja ja 6–8 cm pitkiä, joten odotusarvona oli, että kasvustot talvehtivät.

Maan liukaisen typen mittaukset osoittivat, että jäävuorisalaatin korjuun jälkeen muokkauskerroksessa oli liukoista typpeä 60–80 kg/ha. Kerääjäkasvit käyttivät typpeä tehokkaasti kasvuunsa ja kasvukauden lopulla lokakuun puolivälissä otetuissa maanäytteissä liukaisen typen pitoisuus muokkauskerroksessa oli 12–26 kg/ha ja muokkauskerroksen alapuolella 8–13 kg/ha. Sen sijaan kylvämättömällä alueella muokkauskerroksen liukaisen typen pitoisuus kasvukauden lopulla oli 26 kg/ha ja muokkauskerroksen alapuolella jopa 52 kg/ha (Kuva 33.).



Kuva 28.

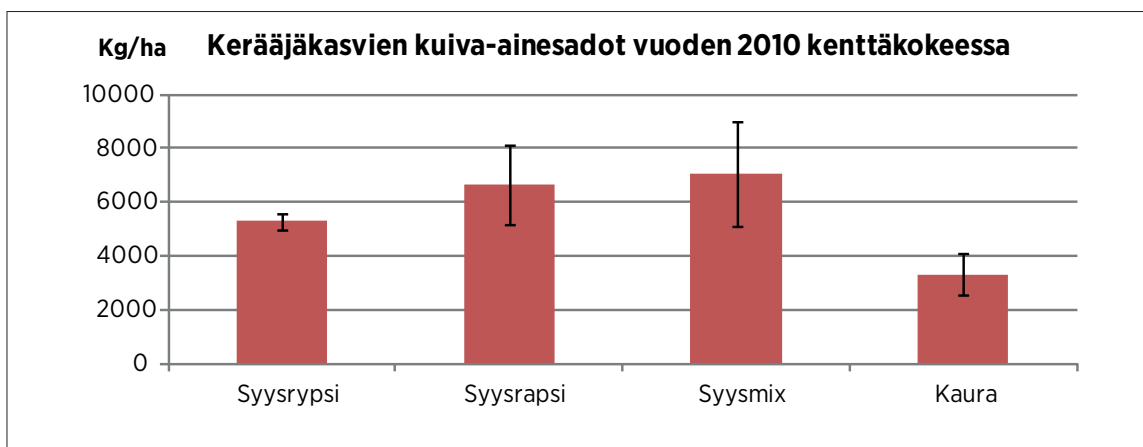
Kerääjäkasvien maanpäällisen kuiva-ainesadon muodostuminen elo-syyskuun vaihteessa tehdystä kylvöstä kasvukauden loppuun vuonna 2009.



Kuva 29. Maan nitraattityypipitoisuus (kg/ha) kerääjäkasvikokeen kylvövaiheessa elokuussa 0–25 cm:n ja 25–60 cm:n maakerroksissa.



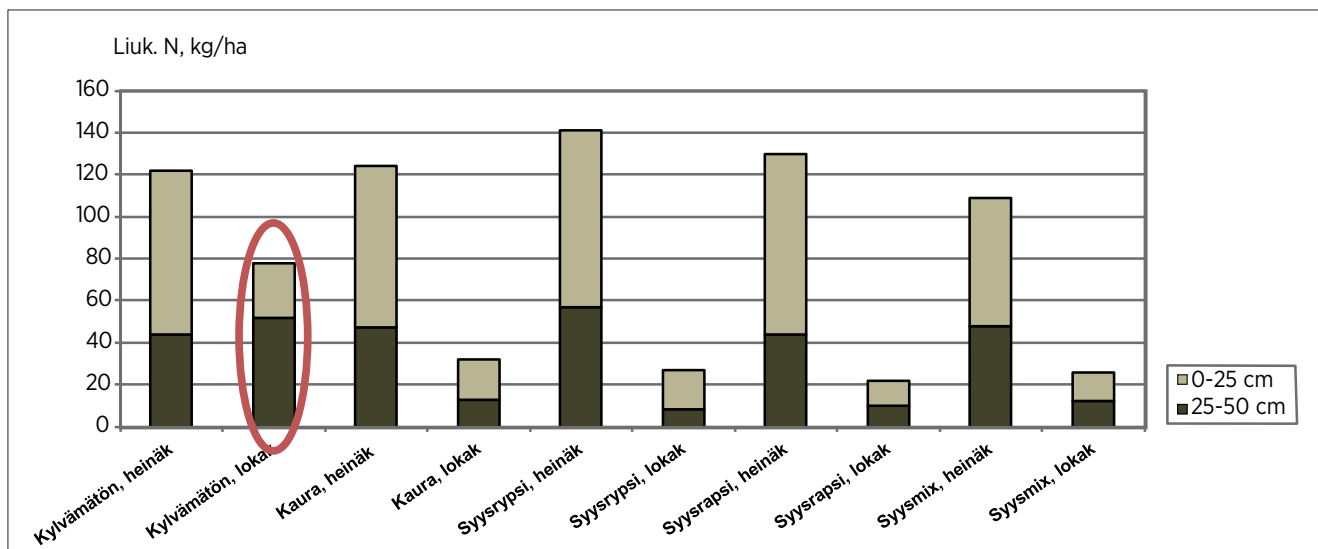
Kuva 30. Öljykasvien koealat ajettiin kylvön jälkeen harjulle talvehtimisen varmistamiseksi. (Kuva: Pirjo Kivijärvi)



Kuva 31. Kerääjäkasvien maanpäällisen kuiva-ainesadon tuotto. Kasvustot on kylvetty 20.7. ja sato korjattu näytealoilta 11.10.2010.



Kuva 32. Kerääjäkasvikokeen syysrapsin (vas), syysrypsin (kesk.) ja syysmix-kasvuston (oik.) juurten kehitys kylvöstä kasvukauden loppuun vuonna 2010. (Kuvat: Pirjo Kivijärvi)



Kuva 33. Maan liukoisien typen pitoisuus (kg/ha) kerääjäkasvikokeella 0–25 cm:n ja 25–50 cm:n maakerroksissa kokeen alussa heinäkuussa ja kasvukauden päätyttyä lokakuussa.

8.2 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ravinteiden huuhtoutumista, yksipuolisen viljelyn haittoja ja eroosiota voidaan vähentää kasvattamalla kerääjäkasveja satokasvin korjuun jälkeen. Väkilannoitteiden kallistuminen sekä vaihtoehtojen hakeminen kasvinsuojeluun ovat lisänneet kerääjäkasvien ja viherlannoituskasvien merkitystä maailmanlaajuisesti (Känkänen ym. 2011).

Kesä-heinäkuussa korjatun jäävuorisalaatin jälkeen maahan jää huomattavia määriä liukoista typpeä, mikä on alttiina huuhtoutumiselle. Satojätteiden muokkaus maahan lisää myös maan ravinteita, erityisesti typpeä. Kerääjäkasvien käytöllä voidaan saada maassa oleva mineraalityppi talteen seuraavaa kasvukautta varten. Vihannesviljelyssä kerääjäkasveina käytetään yleisimmin viljoja. Kokeissamme viljan lisäksi kylvettiin kerääjäkasveiksi ristikukkaiskasveja, jotka onnistuessaan ovat nopeakasvuja ja joilla lisäksi voi olla maata puhdistava ja maalevintäisiä tauteja ehkäisevä vaikutus.

Vuonna 2009 kerääjäkasvit kylvettiin liian myöhään, jolloin kasvu jäi hyvin vaatimattomaksi. Vuonna 2010 heinäkuussa kylvetyt kerääjäkasvit, erityisesti ristikukkaiset kasvit, lähtivät voimakkaaseen kasvuun ja peittivät nopeasti maan, jolloin rikkakasvien kasvu estyi lähes täysin. Sen sijaan kaura

ei pystynyt kilpailemaan jauhosavikan kanssa. Voimakas kasvusto sitoi tehokkaasti maassa vapaana olevan typen kasvuunsa. Ravinteet ovat näin ollen tallessa talven yli kasvustossa ja ravinteiden huuhtoutumisriski vähenee. Ravinteet ovat myös käytettävissä seuraavana kasvukautena, jolloin satokasvin lannoitustarvetta laskettaessa kerääjäkasvien sisältämät ravinteet kannattaa huomioida. Varhaisvihannesten korjuun jälkeen pitkään paljaana olevilla alueilla typpi näyttäisi valuvan alempiin maakerroksiin ja sitä kautta mahdollisesti pohjaveteen ja vesistöihin. Kerääjäkasveja mietittäessä on syytä myös huomioida, ettei kerääjäkasveilla lisätä satokasveille aiheutuvaa tautipainetta. Esimerkiksi ristikukkaiset kasvit ovat kaalikasveja vaivaavan möhöjuuren ja pahkahomeen isäntäkasveja.

Kerääjäkasvien käytöstä aiheutuva hehtaarikohtainen siemenkustannus vaihtelee kylvettävien kasvien mukaan noin 10 € (nurmikasvien siemenet) – 150 € (ristikukkaiset) (Känkänen ym. 2011). Siementen lisäksi kustannuksia aiheutuu myös kylvökustannuksista sekä mahdollisista rikkakasvi- ja tuholaistorjunnasta. Jos tila viljelee kerääjäkasveja ympäristötuen lisätoimenpiteenä, tuki on 13 €/ha. Tulopuolelle voidaan myös laskea mahdollinen lannoituskustannusten aleneminen, rikkakasvien torjuntatarpeen väheneminen sekä kerääjäkasvin vaikutus pidemmällä tähtäimellä pellon kasvukuntoon.

9 YHTEENVETO VIHTA-HANKKEEN TULOKSISTA

VihTa-hankkeessa selvitettiin vihanneksia vioittavien kasvi-tautien aiheuttajia, sekä kartoitettiin taudinaiheuttajien leviämistä ja tautien aiheuttamien satotappion laajuutta. Lisäksi hankkeessa tutkittiin pahkahomeen torjuntaa biologisten torjuntavalmisteiden ja biofumikaation avulla, sekä kerääjäkasvien soveltuvuutta typen huuhtoutumisriskien vähentämiseen avomaan vihannesviljelyssä. Monia hankkeen tutkimustuloksia, esimerkiksi tautien esiintymiseen ja merkitykseen liittyen, voidaan sellaisenaan hyödyntää vihannesviljelyä koskevan integroidun kasvinsuojelun toimintaohjeissa, sekä vihannesviljelijöiden koulutuksissa. Suuri osa hankkeen tutkimuksesta, pääasiassa biofumikaation ja keräyskasveihin liittyen, oli käytännössä uudenlaisten menetelmien pioneeritason testaamista. Näistä menetelmistä saatiin pääasiallisesti lupaavia tuloksia ja niiden kehittämistä ja tutkimista tulisivat tulevaisuudessa jatkaa. Tutkimuksen tärkeimmät tulokset ja johtopäätökset olivat:

- Salaatti- ja kaalikasvien merkittävimmät kasvitaudit eteläsavolaisilla vihannesviljelmillä ovat pahkahome, harmaahome, seittimätä, möhöjuuri sekä piilomätä ja muut bakteeritaudit. Tautien esiintyminen ja vaikutus kauppa-kelpoisen sadon määrään riippuu oleellisesti kasvukaudella vallitsevista sääoloista, käytetystä lajikkeesta, pellon viljelyhistoriasta sekä toteutetuista viljelytoimenpiteistä.
 - Pahkahometta vihanneksille Etelä-Savossa aiheuttavat *S. sclerotiorum* ja *S. subarctica* nom. prov. -sienilajit. Tämä on ensimmäinen havainto *S. subarctica* nom. prov. -lajista Suomessa. Taudinaiheuttajan käytännön merkityksen selvittäminen vaatii lisätutkimusta.
 - Salaatinpiilomätää aiheuttaa *Pseudomonas cichorii* -bakteeri. Taudinaiheuttajasta esiintyy Etelä-Savossa kahta eri tyyppiä, jotka molemmat kykenevät talvehtimaan pelto-maassa edellisvuoden maatumattomassa kasvijätteessä. Etelä-Savosta eristetyt *P. cichorii* -kannat muistuttavat hiltajain Belgiasta salaatilta eristettyjä *P. cichorii* -kantoja
 - Maalevintäisiä tauteja, kuten pahkahometta, seittimätää, möhöjuuria ja piilomätää voidaan ennaltaehkäistä ensisijaisesti toteuttamalla asianmukaista viljelykiertoa. Viljelykierto on tärkeä aloittaa jo ennen kuin pellon tautitilanne muuttuu kriittiseksi. Muita tautienhallintakeinoja ovat kestävien lajikkeiden käyttö, hyvän viljelyhygienian noudatta-
- minen, infektoituneen kasvijätteen poiskerääminen, kastelun vähentäminen, lannoituksen optimointi sekä maan kunnosta huolehtiminen. Tautihavainnot kannattaa kirjata tarkasti ylös viljelymuistiinpanoihin ja hyödyntää muistiinpanoja seuraavan vuoden viljelyn suunnittelussa.
- Viljelykierron kasvitauteja hallitsevaa vaikutusta voidaan myös todennäköisesti tehostaa sisällyttämällä kiertoon biofumikaatiokasveja. Biofumikaatiokasvit estävät kerääjäkasveina myös ravinteiden huuhtoutumista maasta ja parantavat viherlannoituskasveina maan rakennetta. Lisätutkimusta kuitenkin tarvitaan menetelmän teknisten ratkaisujen kehittämiseksi. Myös tietoa eri biofumikaatiokasvien biomassan tuottokyvystä pelto-oloissa tarvitaan lisää. Biofumikaation hyödyt kasvinsuojeluongelmien kustannustehokkaina hallintakeinoina korostuvat mahdollisesti vasta pitkällä aikavälillä ja yhdistettynä muihin torjuntamenetelmiin, kuten hyvään viljelyhygieniaan ja kestävien lajikkeiden käyttöön.
 - Kaupalliset biotorjuntavalmisteet Contans®WG, Mycostop® ja Prestop® ehkäisivät laboratorio-oloissa pahkahomeen kasvua. Tulokset torjuntavalmisteiden tehosta vaihtelivat kuitenkin varsin paljon. Avomaalla toteutetussa kenttäkokeessa valmisteiden vaikutus pahkahomeen kasvuun oli tilastollisesti merkityksetöntä. Lisätutkimusta tarvitaan biotorjuntavalmisteiden toiminnasta ja kustannustehokkuudesta pahkahomeen torjuntamenetelmänä.
 - Ravinteiden huuhtoutumista, yksipuolisen viljelyn haittoja ja eroosiota voidaan vähentää kasvattamalla kerääjäkasveja satokasvin korjuun jälkeen. Varhaisvihannesten korjuun jälkeen pitkään paljaana olevilla alueilla typpi valuu alempiin maakerroksiin ja sitä kautta mahdollisesti pohjaveeseen ja vesistöihin. Kerääjäkasvien käytöllä voidaan saada maassa oleva mineraalityppi talteen seuraavaa kasvukautta varten. Kerääjäkasveiksi Suomessa soveltuvat viljojen lisäksi monet ristikukkaiskasvit, jotka onnistuessaan ovat nopeakasvuisia ja joilla lisäksi voi olla maata puhdistava ja maalevintäisiä tauteja ehkäisevä vaikutus. Lisätutkimusta kuitenkin tarvitaan näiden uusien viljelykasvien talvehtimisesta ja koko menetelmän kustannustehokkuudesta. Kasvinsuojelunäkökulmat ovat myös huomioitava kerääjäkasvin valinnassa.

10 KIRJALLISUUS

- Agapow, P-M, Burt A, 2001. Indices of multilocus linkage disequilibrium. *Molecular Ecology Notes* 1, 101-2.
- Avikainen, H. 2011. Pahkahomeen biologinen torjunta mahdollista – ainakin laboratorio-olosuhteissa. *Kasvin-suojelulehti* 3/2011. s. 68–71.
- Avikainen, H. & Hintikainen, V. 2010. Vihannesten tauteja tarkkaillaan Etelä-Savossa. *Puutarha & kauppa* 9: 24–25
- Avikainen, H. & Tuomola, J. 2011. Bakteeritaudit viihtyivät helteessä. *Puutarha & kauppa* 6: 21.
- Balvoll, G. 1995. Production of Chinese cabbage in Norway: Problems and possibilities. *Journal of Vegetable Crop Production* 1: 3–18.
- Brokenshire, T. & Robertson, N. H. 1986. Control of callabrese spear rot with copper fungicides. Tests of Agrochemical and Cultivars No. 7. *Annals of Applied Biology* 108: 52–53.
- Burkholder, W. H. 1954. Three bacteria pathogenic on head lettuce in New York State. *Phytopathology* 44: 592–596.
- Canaday, C. H., Wyatt, J. E., & Mullins, J.A. 1991. Resistance in broccoli to bacterial soft rot caused by *Pseudomonas marginalis* and fluorescent *Pseudomonas* species. *Plant Disease* 75:715–720.
- Clarkson, J. P., Carter, H. E. & Coventry, E. 2010. First report of *Sclerotinia subarctica* nom. prov. (*Sclerotinia* species 1) in the UK on *Ranunculus acris*. *New Disease Reports* 20: 36
- Cottyn, B., Heylen, K., Heyrman, J., Vanhouteghem, K., Pauwelyn, E., Bleyaert, P., Van Vaerenbergh, J., Höfte, M., De Vos, P. & Maes, M. 2009. *Pseudomonas cichorii* as the causal agent of greenhouse-grown butterhead lettuce in Flanders. *Systematic and Applied Microbiology* 32: 211–225.
- Cottyn, B., Baeyen, S., Pauwelyn, E., Verbaendert, I., Bleyaert, P., Höfte, M., De Vos, P. & Maes M. 2011. Development of a real-time PCR assay for *Pseudomonas cichorii* and its detection in water used for irrigating greenhouse-grown lettuce. *Plant Pathology* 60 (3): 453–461.
- Charron, C. S., Sams, C. E. & Canaday, C. H. 2002. Impact of Glucosinolate Content in Broccoli (*Brassica oleracea* (Italica Group)) on Growth of *Pseudomonas marginalis*, a Causal Agent of Bacterial Soft Rot. *Plant Disease* 86 (6): 629–632
- Cupples, D. & Kelman, A. 1974. Evaluation of selective media for isolation of soft rot bacteria from soil and plant tissue. *Phytopathology* 64: 468–475.
- Daugovish, O., Downer, J., becker, O., Browne, G. & Dunniway, J. 2004. Mustard-derived biofumigation for vegetable crops and strawberries. *Agroindustria* 3, 335–338.
- Fan, C.M., Xiong, G.R., Qi, P., Ji, H. & He, Q. 2008. Potential biofumigation effects of *Brassica oleracea* var. caulorapa on growth of fungi. *Journal of Phytopathology* 156, 321–325.
- Galletti, S., Sala, E., Leoni, O., Burzi, P.L. & Cerato, C. 2008. *Trichoderma* spp. tolerance to *Brassica carinata* seed meal for a combined use in biofumigation. *Biological Control* 45, 319–327.
- Grogan, R. G., Misaghi, I. J., Kimble, K. A., Greathead, A. S., Ririe, D., Bardin, R. 1977. Varnish spot, destructive disease of lettuce in California caused by *Pseudomonas cichorii*. *Phytopathology* 67: 957–960.
- Hao, J. J., Subbarao, K. V. & Koike, S. T. 2003. Effect of broccoli rotation on lettuce drop caused by *Sclerotinia minor* and on the population density of sclerotia in soil. *Plant Disease* 87: 159–166.
- Hawthorne, B. T. 1975. Effect of mulching on the incidence of *Sclerotinia minor* on lettuce. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 3: 273–274
- Hildebrand, P. D. 1989. Surfactant-like characteristics and identity of bacteria associated with broccoli head rot in Atlantic Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology* 11: 205–214.
- Holst-Jensen, A., Vaage, M. & Schumacher, T. 1998. An approximation to the phylogeny of *Sclerotinia* and related genera. *Nordic Journal of Botany* 18: 705–719.
- Iivonen, S. Avikainen, H. & Kivijärvi, P. 2010. Luonnon keinoin pahkahometta vastaan. *Puutarha & kauppa* 12, 25–26. s. 18–19.
- Iivonen, S. Avikainen, H. & Kivijärvi, P. 2011. Biofumikaatio ostako pahkahomeen torjuntakeino vihannesviljelmille? *Kasvinsuojelulehti* 04/2011. s. 115–119.
- Iivonen, S., Kivijärvi, P. & Avikainen, H. 2012. Biofumikaatio jäävuorisalaatin viljelykierrossa – menetelmän mahdollisuudet ja heikkoudet pahkahomeen torjunnassa. *Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2012. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 28. Toim. Nina Schulman ja Heini Kauppinen. Viitattu 24.1.2012/ Julkaistu 15.1.2012. Saatavilla Internetissä: www.smts.fi. ISBN 978-951-9041-56-8.*
- Jaakkola, S. 2002. Kaalikasvien glukosinolaatit rikkakasvien torjunnassa. *Teoksessa: Kari Tiilikkala (toim.). Biotorjunta osana ekologista kasvinsuojelua. Maa- ja elintarviketalous* 10: 50–71.

- Jones, J. B. 1990. Selective isolation of *Pseudomonas cichorii* from soil and from leaves and buds of *Dendranthema grandiflora*. *Plant Disease* 74 (4): 300–303
- Kankila, J. 1998. Tervettä salaattia sateisesta Suomesta. *Kasvinsuojelulehti* 4: 108–110.
- King, E. O., Ward, M. K., & Raney, D. E. 1954. Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 44: 301–307.
- Kirkegaard, J. 2009. Biofumigation for plant disease control – from the fundamentals to the farming system. Teoksessa: Dale Walters (toim.) *Disease Control in Crops. Biological and Environmentally Friendly Approaches*. Wiley-Blackwell. s. 172–195.
- Känkänen, H., Keskitalo, M., Riiko, K. 2011. Kerääjäkasvit -tutkimuksesta käytännön kokemuksiin. TEHO-hankkeen julkaisuja: Tehoa maatalouden vesiensuojeluun 4/2011. 80 p.
- Lelliott, R. A., Billing, E. & Hayward, A. C. 1966. A determinative scheme for the fluorescent plant pathogenic pseudomonads. *Journal of Applied Bacteriology* 29: 470–489.
- Li, H.-X. 2011. Identification on *Sclerotinia* species infecting vegetables in Etelä-Savo region, Finland. Department of Agricultural Sciences, University of Helsinki, MSc-PPS/Plant Pathology Master's thesis. 47 s.
- Manici, L.M., Lazzeri, L. and Palmieri, S. 1997. In vitro fungitoxic activity of some glucosinolates and their enzyme-derived products toward plant pathogenic fungi. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 2768–2773.
- Oleszek, W. 1987. Allelopathic effects of volatiles from some Cruciferae species on lettuce, barnyard grass and wheat growth. *Plant and Soil* 102: 271–273.
- Pung, H., Aird, P. L. & Cross, S. 2004. The use of Brassica green manure crops for soilimprovement and soilborne disease management. In: *Proc. Third Australas. Soilborne Dis. Symp. Barossa, SA, Australia*.
- Ren, J., Petzoldt, R., Dickson, M. H. 2001. Genetics and population improvement of resistance to bacterial soft rot in Chinese cabbage. *Euphytica* 117: 197–207
- Schwartz, H. F. & Steadman, J. R. 1977. Factors Affecting Sclerotium Populations of, and Apothecium Production by, *Sclerotinia sclerotiorum*. *Phytopathology* 68: 383–388
- Sexton, P., Plant, A. & Johnson, S.B. 2007. Effect of a mustard green manure potato yield and disease incidence in a rainfed environment. Online. *Crop Management* doi:10.1094/CM-2007-0122-02-RS.
- Sirjusingh, C. & Kohn, L. 2001. Characterization of microsatellites in the fungal plant pathogen, *Sclerotinia sclerotiorum*. *Molecular Ecology Notes* 1: 267–269.
- Smolinska, U. & Horbowicz, M. 1999. Fungicidal activity of volatiles from selected cruciferous plants against resting propagules of soil-borne fungal pathogens. *Journal of Phytopathology* 147, 119–124.
- Tsuchiya, Y., Ohata, K., Iemura, H., Sanematsu, T., Shirata, A., Fujii, H. 1979. Identification of causal bacteria of head rot of lettuce. *Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences C*. 33: 77–99 (Abstr. Eng.).
- Tuomola, J. 2011. Salaatinpiilomätätäudien etiologia. Maataloustieteiden laitos, Helsingin Yliopisto, Kasvintuotantotieteiden maisterin tutkielma. 107 s.
- Tuomola, J., Avikainen, H., Piirainen, A. & Pirhonen, M. 2012a. *Pseudomonas*-bakteerit ongelmina avomaavihanneksilla. *Puutarha & kauppa* 2: 16–17
- Tuomola, J., Li, H.-X., Avikainen, H., Piirainen, A. & Pirhonen, M. 2012b. Uutta tutkimustietoa avomaavihanneksia vioittavista taudeista. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2012 Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 28. Toim. Nina Schulman ja Heini Kauppinen. Viitattu 24.1.2012/Julkaistu 15.1.2012. Saatavilla Internetissä: www.smts.fi. ISBN 978-951-9041-56-8.
- Uematsu, T., Takatsu, A. & Ohata, K. 1982. A medium for the selective isolation of *Pseudomonas cichorii*. *Annals of the Phytopathological Society of Japan* 48 (4): 425–432.
- Veblaendert, I. 2007. Real-Time PCR detection of *Pseudomonas cichorii*, the causal agent of midrib rot in lettuce. Department of Biochemistry, Physiology and Microbiology, University of Ghent, Belgium, MSc thesis. <https://archive.ugent.be/retrieve/5861/thesisvolledig.pdf> (9.12.2008)
- Warner, J., Cerkauskas, R., Zhang, T. & Hao, X. 2003. Response of Chinese Cabbage Cultivars to Petiole Spotting and Bacterial Soft Rot. *HortTechnology* 13 (1): 190–195
- Wimalajeewa D. L. S. 1987. The etiology of head rot disease of broccoli. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 735–742
- Winton, L. M., Leiner, R. H. & Krohn, A. L. 2006. Genetic diversity of *Sclerotinia* species from Alaskan vegetable crops. *Canadian Journal of Plant Pathology* 28: 426–434.
- Winton, L. M., Krohn, A. L. & Leiner, R. H. 2007. Microsatellite markers for *Sclerotinia subarctica* nom. prov., a new vegetable pathogen of the High North. *Molecular Ecology Notes* 7: 1077–1079.
- Zazzeri, A. & Tosi, L. 1985. Antagonistic activity of fungi isolated from sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Pathology* 34: 415–421.



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

RURALIA-INSTITUUTTI
RURALIA-INSTITUTET
RURALIA INSTITUTE